Zeitschrift
für den
Physikalischen und Chemischen Unterricht.
L. Jahrgang. 1937. Sechstes Heft.

Fünfzig Jahre elektromagnetische Wellen.

Von F. Kiebitz in Berlin-Südende.

Faraday hatte bereits erkannt, daß der Sitz der elektrischen und der magnetischen Kräfte nicht in den Leitern zu suchen sei, die wir als geladen oder als stromdurchflossen ansehen, sondern in dem umgebenden isolierenden Raum; die elektromagnetischen Vorgänge sind mit Energieumwandlungen verbunden, die wir nur vom Standpunkte des Isolators aus richtig beschreiben können, während alle Versuche, elektrische Ströme durch Vergleichung mit Wasserleitungen zu beschreiben, am Kern der Sache vorübergehen.

Maxwell hat diese Grunderkenntnis wesentlich ausgebaut; er erforschte das große Gesetz für die Wechselbeziehung zwischen elektrischen und magnetischen Feldern; es besagt, daß jede Stelle des Raumes, an der aus irgendeinem Grunde eine Änderung des magnetischen Feldes zustande kommt, von einem wirbelförmigen elektrischen Feld umgeben erscheint, und jede Stelle, an der ein elektrisches Feld entsteht oder vergeht, von einem magnetischen Wirbel. Er stellte diese Erkenntnis in den nach ihm benannten Feldgleichungen mathematisch dar; aus diesen Feldgleichungen berechnete er, daß die Ausbreitung der elektromagnetischen Vorgänge im leeren Raume mit einer Geschwindigkeit erfolgt, die mit dem Verhältnis der Maßeinheiten übereinstimmt; und in einem mit isolierendem Stoff erfüllten Raum ist die Fortpflanzungsgeschwindigkeit im Verhältnis der Wurzel aus der Dielektritätskonstante dieses Stoffes kleiner. Daraus schloß Maxwell, daß die Lichtbewegung ein elektromagnetischer Vorgang ist; diese Theorie erklärte optische und elektrische Vorgänge, die unseren Sinnen so sehr verschieden erscheinen, als verschiedene Auswirkungen einer und derselben physikalischen Grunderscheinung, eben jener Wechselwirkung zwischen elektrischen und magnetischen Wechselfeldern. Sie läßt sich an umfassender Bedeutung mit Newtons Gravitationstheorie vergleichen, die zwei scheinbar so verschiedene Vorgänge wie die Fallbewegung und die Planetenbewegung aus einem physikalischen Grundgesetz erklärt.

Eine zusammenfassende Darstellung seiner Theorie gab Maxwell in seinem Buche "Treatise on Electricity and Magnetism", das im Jahre 1873 erschien und später von Weinstein ins Deutsche übersetzt wurde. Doch blieb die Theorie von der elektromagnetischen Natur des Lichtes noch lange Zeit umstritten, obgleich sie sich stark auf die Erfahrungstatsachen stützte, daß die Lichtgeschwindigkeit mit dem Verhältnis der Maßsysteme übereinstimmt und die optische Brechungszahl in vielen Fällen der Wurzel aus der Dielektrizitätskonstante gleich ist.

Erst mit der Entdeckung der elektromagnetischen Wellen durch Heinrich Hertz gelangte Maxwells elektromagnetische Lichttheorie endgültig zur Anerkennung gegenüber den älteren Theorien, insbesondere gegenüber der elastischen Lichttheorie. Das Verdienst von Hertz ist gleich groß in theoretischer wie in experimenteller Hinsicht. Experimentell glückte ihm die Ausstrahlung elektrischer Wellen durch einen Sender, in dem er sehr schnelle Schwingungen erregte; er brachte diese Wellen zur Interferenz, maß ihre Ausbreitungsgeschwindigkeit und zeigte, daß sie polarisiert sind und ähnlich wie Lichtwellen reflektiert und gebrochen werden können. Theoretisch fand er eine Lösung der Maxwellschen Feldgleichungen, die eine strenge Berechnung der Größe und der Verteilung der Felder gestattet, die ein schwingender Dipol

ausstrahlt; und damit war das Grundgesetz für die Ausstrahlung elektromagnetischer Wellen durch einen Schwingungsvorgang gefunden.

Die Veröffentlichungen von Hertz über diesen Gegenstand begannen im Jahre 1887; sie sind in unserer Zeitschrift in den ersten Jahren ihres Bestehens in mehreren ausführlichen Berichten besprochen worden, und in den folgenden Jahren wurden hier alle wichtigen Untersuchungen mitgeteilt, die durch die Entdeckung von Hertz angeregt waren, z. B. die Linsenversuche von Lodge, die Drahtwellen von Lecher und von Blondlot, die Dämpfungsbestimmung von Bjerknes, die Messung der Dielektrizitätskonstante und der Absorption von Drude, die großen Reflexionsversuche von Sarasin und de la Rive, Righis Versuche mit sehr kurzen Wellen. Daneben wurde über die Verfeinerung der Empfänger berichtet, die Boltzmann, Zehnder und Rubens angegeben haben, und nicht zum wenigsten über viele Demonstrations- und Unterrichtsversuche, unter anderen die Versuche von Voller und von Arons.

In den ersten zehn Jahren wurden bei allen Untersuchungen Wellen benutzt, die höchstens einige Meter lang waren, bei Righi nur etwa einen Dezimeter, und die ohne Erdberührung erregt wurden; das waren also Wellen, die in der heutigen Hochfrequenztechnik als ultrakurze oder Mikrowellen bezeichnet werden. Die längeren Wellen der drahtlosen Telegraphie, die mit Erdverbindung hergestellt wurden, hat erst Marconi als Hertzsche Wellen angesprochen. Tesla hingegen hat noch nicht von Hertzschen Wellen gesprochen, obgleich er sich seit 1892 mit der Ausbreitung elektrischer Felder durch geerdete Luftleiter beschäftigte, in denen hochfrequente Teslaströme erregt wurden. Auch ist erst im Jahre 1898 von Max Abraham der Nachweis geführt worden, daß die Antennenstrahlung annähernd mit der Hertzschen Lösung berechnet werden kann, soweit die Vorgänge in der Atmosphäre stattfinden, und seitdem ist es eine Selbstverständlichkeit geworden, sie als Hertzsche Wellen anzusprechen. Dagegen würde Tesla im Jahre 1892 bestimmt auf Ablehnung gestoßen sein, wenn er damals die Fernwirkung seiner Hochfrequenzströme mit Hertzschen Wellen hätte identifizieren wollen.

Marconi war als Schüler von Righi bei seinen ersten Versuchen, die im Jahre 1895 stattfanden, bewußt von kurzen Hertzschen Wellen ausgegangen, auch nach dem damaligen Sprachgebrauch; und unter dem von ihm hochgehaltenen Banner der Hertzschen Wellen hat sich die drahtlose Telegraphie mit dramatischem Schwung entwickelt.

Noch heute hängen aber unserer Auffassung von den Ausbreitungsvorgängen der drahtlosen Telegraphie gelegentlich Vorstellungen an, die in der Urzeit der elektrischen Wellen in anderem Zusammenhang eine Rolle gespielt haben. Z. B. erblickt noch heute der Fernerstehende die Verwandtschaft zwischen Lichtwellen und drahtlosen Wellen weniger in ihrer elektromagnetischen Natur als in der geradlinigen Ausbreitung; und doch ist unter den Verhältnissen der drahtlosen Telegraphie eine geradlinige Ausbreitung überhaupt nicht erörterbar, und im optischen Gebiete stellt sie bekanntlich nur eine mehr oder weniger gute Annäherung an den wirklichen Vorgang der Lichtausbreitung dar.

Es bietet darum einigen Reiz, sich der Rolle zu erinnern, die in der Geschichte der Physik die geradlinige Lichtausbreitung gespielt hat, und in diesem Zusammenhang einige Folgerungen für die Vorgänge in der drahtlosen Telegraphie zu ziehen.

Am Ende des 17. Jahrhunderts standen sich zwei Theorien von der Natur des Lichtes gegenüber; Newton vertrat die Emissionslehre, d. i. die Auffassung, nach der ein leuchtender Körper Lichtteilchen aussende, die sich aus Trägheitsgründen in geraden Bahnen mit bestimmter Geschwindigkeit fortbewegen. Huygens begründete die Wellentheorie des Lichtes, die aber erst im 19. Jahrhundert unter Fresnels Einfluß als die einzige Möglichkeit, die Interferenzfähigkeit des Lichtes zu erklären, übrigblieb.

Während nun in der Emissionstheorie die geradlinige Ausbreitung kaum einer besonderen Erklärung bedurfte, bereitete ihre Erklärung der Wellentheorie die größten Schwierigkeiten; denn Wellen breiten sich im Raume kugelförmig aus, also allseitig, und dringen überall hin.

Wir wissen heute, daß der Lichtstrahl, der uns scharf begrenzt erscheint, in Wirklichkeit von einem Gerüst gebeugten Lichtes umgeben ist, das sich allerdings der groben Betrachtung um so mehr entzieht, je größer der Querschnitt des Strahles ist, gemessen an der Wellenlänge. In Wirklichkeit wird jede Stelle des Raumes, die von einer Wellenbewegung getroffen wird, zum Ausgangspunkt einer Kugelwelle, und wenn wir nach dem Vorgange von Huygens diese elementaren Kugelwellen für alle Stellen des Raumes betrachten, so erkennen wir, daß sie sich zu einem Ausbreitungsvorgang überlagern, bei dem eine Wellenfront auftritt, die als die einhüllende Fläche jener Elementarwellen erscheint. Im Fall einer geradlinigen Ausbreitung müßte diese Wellenfront eben sein. Dies kommt in der Wirklichkeit streng genommen nie vor, auch nicht beim Licht. Auch bei einem breiten Lichtstrahl besteht der Ausbreitungsvorgang bekanntlich nicht nur aus dem grob wahrnehmbaren Strahl mit ebener Wellenfront, sondern außerdem aus dem ihn umgebenden Beugungslicht. Erst wenn die Breite des Strahles unendlich groß gegenüber der Wellenlänge sein könnte, oder wenn bei einem Strahl von endlicher Breite die Wellenlänge Null sein könnte, würden die Voraussetzungen für eine rein geradlinige Lichtausbreitung vorliegen.

Wenn wir von geradliniger Lichtausbreitung sprechen, so schweben uns Strahlen der ungefähren Breite von Millimetern vor; sie erscheinen uns rein geradlinig, weil diese Breite nach Millionen Wellenlängen mißt. Erst wenn wir mit Strahlen arbeiten, die nur einige Wellenlängen breit sind, versagt die Geradlinigkeit vollkommen; dieser Fall liegt bei der mikroskopischen Abbildung sehr kleiner Gegenstände vor und begrenzt das Auflösungsvermögen der Mikroskope.

Im akustischen Gebiete gehören Strahlen zu den Seltenheiten und erscheinen nie scharf begrenzt; wir sind gewohnt, daß die Schallwellen jeden Luftraum erfüllen und in der allseitigen Ausbreitung nur wenig gehindert werden. Der physikalische Grund hierfür liegt darin, daß ihre Wellenlänge 3 cm bis 10 m beträgt; sie ist also hunderttausend- bis zehn millionenmal so groß wie die des sichtbaren Lichtes.

Von ähnlicher Größe sind die kürzesten elektrischen Wellen, die neuerdings in der drahtlosen Telegraphie verwendet werden. Diese Wellen lassen eine Bündelung zu, wie schon durch die Hohlspiegelversuche von Hertz bekanntgeworden ist; sie lassen sich in eine bevorzugte Richtung zu einem Strahle zusammendrängen; dieser Strahl läßt sich hinsichtlich seiner Schärfe wohl mit Schallstrahlen vergleichen, aber keineswegs mit Lichtstrahlen. Der physikalische Grund für diese Unschärfe liegt natürlich darin, daß die Felder, aus denen die Wellen bestehen, nicht unvermittelt an einer geometrischen Schattengrenze aufhören können.

Für Rundfunkwellen und noch viel weniger für noch längere Wellen der Hochfrequenztechnik sind die Voraussetzungen für die Bildung von geradlinigen Strahlen, die sich mit Lichtstrahlen vergleichen lassen, unter irdischen Verhältnissen überhaupt nicht vorhanden. Entsprechend der Länge dieser Wellen müßte man mit spiegelnden oder schattenwerfenden Körpern arbeiten, die die Größe von Himmelskörpern haben, und man müßte kosmische Entfernungen zur Beobachtung benutzen.

Es ist zu hoffen, daß die Vorstellung von der allseitigen, kugelförmigen Ausbreitung der Wellen in der drahtlosen Telegraphie Allgemeingut wird. Insbesondere sollte man die Überwindung der Erdkrümmung nicht mehr als ein Problem ansehen, sondern als eine Selbstverständlichkeit, die in der Wellennatur der elektrischen Ausbreitungsvorgänge begründet ist; denn in Wirklichkeit breiten sich die Wellen allseitig aus, und wenn eine geradlinige Strahlenbildung vorhanden wäre, so würde sie einer Erklärung bedürfen, die sehr viel schwerer gelingen würde als unter den Verhältnissen der Optik des sichtbaren Lichtes.

Grundlegende Fragen der Schallstrahlung und Schallausbreitung[1].

Von **Ferdinand Trendelenburg** in Berlin-Siemensstadt.

1. Schallfelder und Schallquellen.

Tritt an einer Stelle eines elastischen Mediums eine Druckstörung auf, so erfahren die der Störungsstelle benachbarten Mediumteilchen Verschiebungen, welche ihrerseits wieder in den angrenzenden Mediumteilen Druckänderungen hervorrufen. Die Druckstörung breitet sich von der Ursprungsstelle aus; ein „Schallfeld" wird aufgebaut. Handelt es sich bei der Druckstörung nicht um einen einzelnen kurzen Impuls, sondern um oszillatorische Druckschwankungen, so hat man es mit einem Schallvorgang im engeren Sinne zu tun. Der einfachste Schallvorgang ist die rein periodische Druckschwankung von der Form $p = p_0 \cdot \sin \omega t$ (ω = Kreisfrequenz = πn, n sekundliche Frequenz in Hz, t Zeit); man nennt einen derartigen rein periodischen Schallvorgang einen „Ton". Das Ohr wird einen Ton dann wahrnehmen, wenn seine Frequenz zwischen etwa 16 und 20000 Hz liegt und wenn seine Druckamplitude so groß ist, daß der Schwellendruck der Hörempfindung überschritten, die Grenze der Schmerzempfindung aber noch nicht erreicht ist. Für den Druck benutzt man als physikalisches Maß dyn/cm²; man nennt ein dyn/cm² auch μ bar; bemerkt sei noch: ein dyn/cm² entspricht $0{,}987 \cdot 10^{-6}$ Atm. Über die Grenze der Hörschwelle gibt die nebenstehende Tabelle 1 Auskunft.

Tabelle 1. Hörschwelle.

Hertz	50	200	800	3200
dyn/cm²	$2 \cdot 10^{-1}$	$7 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-4}$

Die Tabelle zeigt, daß das Ohr bei tiefen Frequenzen verhältnismäßig unempfindlich ist; die Empfindlichkeit wächst dann mit steigender Tonhöhe rasch an, bei etwa 1000 Hz durchläuft sie ein flaches Maximum, um dann wieder stark abzunehmen.

Die Schmerzgrenze hängt von der Frequenz nur wenig ab, sie liegt bei etwa $1{,}5 \cdot 10^3$ dyn/cm².

Die Geschwindigkeit, mit der Schallwellen das Schallfeld durchlaufen, hängt mit der Dichte des Mediums und der Kompressibilität des Mediums gemäß der Beziehung $c = \sqrt{\frac{1}{\varrho \cdot K}}$ zusammen, und zwar ist, da die Druckschwankungen sehr rasch erfolgen, die sogenannte adiabatische Kompressibilität in die Formel einzusetzen. Eine nähere Diskussion zeigt dann noch, daß die Schallgeschwindigkeit im allgemeinen mit der Temperatur zunimmt. Auf diese die Schallausbreitung auf große Entfernungen entscheidend beeinflussende Tatsache wird noch zurückzukommen sein. Die nebenstehende Tabelle 2 enthält einige Schallgeschwindigkeitswerte.

Tabelle 2.

Temperatur	Schallgeschwindigkeit in m/sec	
	Luft	Seewasser
0°	332	1440
+10°	338	1481
+20°	344	1514

Wie bereits eingangs erwähnt, finden in Schallfeldern neben Druckschwankungen auch Teilchenverschiebungen statt. Bei sinusförmiger Druckschwankung verläuft auch die Teilchenverschiebung sinusförmig. Für theoretische Überlegungen wichtiger als die Teilchenverschiebung ist noch die Teilchengeschwindigkeit oder „Schnelle"; auch die Schnelle verläuft bei sinusförmiger Erregung des Schallfeldes rein sinusförmig, gemäß der Form $v = v_0 \cdot \sin \omega \cdot t$.

Das Verhältnis Druck/Schnelle bezeichnet man als „akustischen Widerstand" $\mathfrak{Z} = p/v$.

Besonders einfach gestalten sich die Verhältnisse in Schallfeldteilen, welche in sehr großer Entfernung von der Schallquelle liegen; greift man sich nämlich dort einen

[1] Nach einem im wissenschaftlichen Kolloquium der Siemens-Werke gehaltenen Vortrage.

kleinen Bereich aus dem Schallfeld heraus, so kann man annehmen, daß die Wellenfronten nicht mehr Kugelflächen, sondern Ebenen sind (Fig. 1); in allen senkrecht zur Ausbreitungsrichtung liegenden Ebenen findet dann die gleiche Druckschwankung statt, auch die Schnelle ist jeweils auf einer zur Ausbreitungsrichtung senkrecht liegenden Ebene die gleiche.

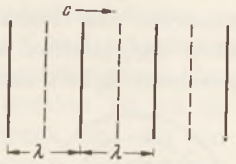


Fig. 1. Ebene Welle.

Für ebene Wellen ist der akustische Widerstand im gesamten Medium konstant, und zwar $\mathfrak{Z} = \varrho \cdot c$; er besitzt in Luft von 20° C also einen Wert von rund 45 cgs-Einheiten oder, wie man auch sagt, „akustische Ohm".

Über den akustischen Widerstand verschiedener Medien gibt die nachfolgende Tabelle 3 Auskunft.

Der akustische Widerstand ist eine sehr wichtige charakteristische Größe für Medien. Die Betrachtung der Frage beispielsweise, wieviel Schall von einem Medium in ein zweites durch die Grenzfläche eintritt, zeigt, daß die gesamte Energie (bei senkrechtem Auffall ebener Wellen) dann ungehindert in das zweite Medium einfließt, wenn die Schallwiderstände beider Medien gleich sind, daß aber andererseits nur wenig Schall in das zweite Medium eintritt oder, mit anderen Worten, ein großer Teil der Schallenergie an der Grenzfläche reflektiert wird, wenn die Schallwiderstände stark verschieden sind. Diese Feststellungen zeigen, daß man die Ausbreitung von Luftschall durch Zwischenschaltung einer Trennschicht großen Schallwiderstandes, also beispielsweise einer massiven Mauer, verhindern kann und daß man andererseits als Trennschicht gegen Schall in festen Körpern Zwischenschichten von einem Material geringen Schallwiderstandes, also beispielsweise eine Luftschicht, eine Schicht aus einer gummiähnlichen Masse oder eine Korkschicht, zu verwenden hat.

Tabelle 3. Schallwiderstand.

Luft	45 akustische Ohm
Gummi . . .	etwa $5 \cdot 10^3$ „
Kork	„ $1{,}2 \cdot 10^4$ „
Eichenholz . .	„ $2{,}8 \cdot 10^5$ „
Ziegel	„ $6{,}5 \cdot 10^5$ „
Granit	„ $1 \cdot 10^6$ „
Stahl	„ $4 \cdot 10^6$ „

Neben den Schallfeldern, die von einer ebenen Welle durchflossen werden, sind Schallfelder besonders wichtig, welche kugelsymmetrisch aufgebaut sind. Fig. 2 zeigt schematisch einen Schnitt durch eine Kugelwelle; die Druckstörung, welche das Schallfeld aufbaut, läuft vom Punkte M aus in das Schallfeld ab, es herrschen dann jeweils auf Kugelflächen, die die Schallquelle konzentrisch umschließen, gleicher Druck bzw. gleiche Schnelle. Mit der Entfernung r nimmt sowohl der Druck wie die Schnelle nach einem linearen Gesetz ab; es gelten für Druckschwankungen und Schnelle die Beziehungen:

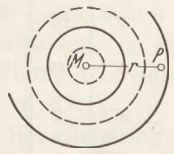


Fig. 2. Kugelwelle.

$$p = -\frac{\varrho \cdot \omega \cdot A}{4\pi r} \sin\left[\omega\left(t - \frac{r}{c}\right)\right] \quad (A \text{ ist die „Ergiebigkeit der Quelle"}),$$

$$v = -\frac{\omega \cdot A}{4\pi r \cdot c} \sqrt{1 + \left(\frac{\lambda}{2\pi r}\right)^2} \sin\left[\omega\left(t - \frac{r}{c}\right) - \varphi\right] \quad \operatorname{tg}\varphi = \frac{\lambda}{2\pi r},$$

$\lambda = c/n$ „Wellenlänge".

In der theoretischen Akustik benutzt man zur Beschreibung eines Schallfeldes zunächst meist nicht die Druckschwankung oder die Schnelle, sondern das sogenannte Geschwindigkeitspotential Φ; die Diskussion der hydrodynamischen Grundgesetze zeigt, daß im Falle wirbelfreier Bewegung — und diese Bedingung ist in der Akustik in nahezu allen Fällen erfüllt — die an den verschiedenen Punkten des Feldes vorhandene Teilchengeschwindigkeit sich durch eine Potentialfunktion definieren läßt. Die Teilchengeschwindigkeit geht aus dem Geschwindigkeitspotential dann durch Differentiationen nach den Raumkoordinaten $v = \operatorname{grad}\Phi$ $\left(\text{für Kugelwellen also } v = \frac{\partial \Phi}{\partial r}\right)$ hervor. Aber auch die Druckschwankung läßt sich aus dem Geschwindigkeitspotential,

und zwar durch Differentiation nach der Zeit, sofort ableiten, es gilt nämlich $p = -\varrho \frac{\partial \Phi}{dt}$. Schallfeldberechnungen werden meist in der Weise durchgeführt, daß zunächst das Geschwindigkeitspotential ausgerechnet wird und man dann durch die eben dargestellten einfachen Differentialoperationen Druckschwankung und Teilchengeschwindigkeit ermittelt. Für das Geschwindigkeitspotential von Kugelwellen ergibt sich (als Lösung der allgemein gültigen Wellengleichung $\frac{\partial^2 \Phi}{dt^2} = c^2 \Delta \Phi$) der Ausdruck $\Phi = -\frac{A}{4\pi r} \cos\left[\omega\left(t - \frac{r}{c}\right)\right]$, wobei mit A die Ergiebigkeit der Quelle bezeichnet ist. Aus diesem Ansatz folgen dann durch die erwähnten Differentialoperationen die obenstehend bereits gebrachten Beziehungen für den Druck und die Schnelle. Praktisch sehr wichtig ist die Frage, wieviel Energie mit der Welle durch das Schallfeld transportiert wird. Man bezeichnet die in der Zeiteinheit durch die zur Ausbreitungsrichtung senkrechte Flächeneinheit strömende Energiemenge als „Schallintensität" oder „Schallstärke" (Erg/sec cm² = 10^{-7} W; Fig. 3).

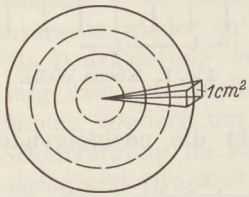


Fig. 3. Energiefluß durch Flächeneinheit (Intensität).

Durch einfache Energiebetrachtungen läßt sich für die Schallintensität in einem Kugelschallfeld die Beziehung aufstellen:

$$I = \frac{p_0^2}{2\varrho \cdot c} = \frac{\varrho \cdot c}{2} v_0^2 \frac{1}{1 + \left(\frac{\lambda}{2\pi r}\right)^2}.$$

Bemerkt sei, daß die eben hörbare Schallintensität im Bereiche der größten Ohrempfindlichkeit, also bei Tönen um etwa 1000 Hz, ungefähr 10^{-16} W/cm² beträgt, bei etwa 10^{-3} W/cm² wird die Schmerzgrenze erreicht. Es liegen zwischen Hörschwelle und Schmerzgrenze also rund 13 Zehnerpotenzen der Energie. Wie groß ein Energieunterschied von 13 Zehnerpotenzen ist, soll ein Vergleich veranschaulichen. Das Verhältnis des Gewichtes der gesamten Welthandelsflotte zu einem einzigen Gramm hat ebenfalls etwa den Wert 10^{13}. Es ist erstaunlich, daß ein Instrument, das menschliche Ohr, in der Lage ist, in so großen Energiebereichen Beobachtungen anzustellen. Andererseits kann es nicht wundernehmen, daß es außerordentliche Schwierigkeiten bereitet, mit einem technischen Meßinstrument in so verschiedenen Meßbereichen genaue Messungen anzustellen; vor Einführung der Verstärkerröhren war es schlechterdings ausgeschlossen, objektive Messungen im gesamten Intensitätsbereich zu machen.

W/cm²	db	Phon	dyn/cm²	
10^{-3}	130	130	10^3	Kesselschmiede
10^{-5}	110	110	10^2	Flugzeuglärm
10^{-7}	90	90	10	Löwengebrüll
10^{-9}	70	70	1	Großstadtlärm
10^{-11}	50	50	10^{-1}	Umgangssprache
10^{-13}	30	30	10^{-2}	ruhiger Vorort
10^{-15}	10	10	10^{-3}	Flüstern
10^{-16}	0	0		Hörschwelle

Drucke p_1 p_2:
Lautstärkenunterschied $= 20 \cdot \log_{10} \frac{p_1}{p_2}$ „Phon"
Intensitäten I_1 I_2:
Lautstärkenunterschied $= 10 \cdot \log_{10} \frac{I_1}{I_2}$ „Phon"
Normalfrequenz 1000 Hz

Fig. 4. Decibel- und Phon-Skala.

Es ist nach dem Gesagten ohne weiteres verständlich, daß es praktisch unvorteilhaft, wenn nicht unmöglich ist, für Intensitätsangaben in größeren Intensitätsbereichen lineare Skalen anzuwenden. Man verwendet vorteilhaft logarithmisch aufgebaute Skalen, und zwar neuerdings fast ausschließlich solche, welche nach Logarithmen zur Basis 10 eingeteilt sind (Fig. 4). Man wählt die einzelnen Stufen der Skala dabei so, daß man bei einem Wachsen der Intensität um den Faktor 10 die Skala um 10 Skalenwerte ansteigen läßt (linker Teil der Fig. 4). Bezieht man seine Angaben auf den Druck, so muß man dann, da Druck und Intensität in einer quadratischen Beziehung stehen, bei einem Ansteigen des Druckes um den Faktor 10 auf der logarithmischen Skala 20 Skalenteile durchwandern (rechter Teil der Fig. 4). Da der gesamte Intensitäts-

bereich zwischen Hörschwelle und Schmerzschwelle im Intensitätsmaß 13 Zehnerpotenzen umfaßt, ist die gesamte Länge der logarithmischen Skala dann 130 Skalenteile.

Diese zunächst rein physikalisch aufgebaute Skala besitzt eine große praktische Bedeutung; man kann nämlich mit ihrer Hilfe „Lautstärken" gut kennzeichnen.

Zunächst ist festzustellen, daß die Einheit der Skala (ein „Phon" in der deutschen Bezeichnung, ein „Decibel" in der amerikanischen Bezeichnung) ungefähr gerade dem eben hörbaren Unterschied zweier Schallstärken entspricht. Weiterhin ist zu bemerken, daß der Zusammenhang zwischen dem Lautstärkeneindruck und der auffallenden Schallintensität in freilich nur ziemlich grober Annäherung ein logarithmischer ist; man kann also durch die Maßzahlen der Skala mit einer gewissen Annäherung auch die Stärke des Gehöreindrucks kennzeichnen. Um die von der Tonhöhe stark abhängige Empfindlichkeit des Ohres bei Lautstärkenangaben richtig zu bewerten, bezieht man alle Angaben auf die mit dem zu untersuchenden Schallvorgang subjektiv als gleich laut empfundene Stärke eines Tones von 1000 Hz, auf die Stärke des sogenannten „Normaltones". Bei objektiven Lautstärkemessungen berücksichtigt man den Empfindlichkeitsgang des Ohres durch entsprechende Frequenzgänge der Meßapparatur.

Der Bezugspunkt der deutschen Lautstärkenskala, der Phonskala, zur absoluten physikalischen Stärke des Schalls ist zur Zeit in der Weise gegeben, daß ein dyn/cm² des Normaltones gleich 70 Phon gesetzt wurde; es liegt dann bei null Phon nahezu genau die mittlere Hörschwelle. Die amerikanische Decibelskala ist so an die Absolutintensität angeschlossen, daß man null Decibel gleich 10^{-16} W/cm² setzt; es bedeutet dies gegen die deutsche Skala eine kleine Verschiebung; die Angaben nach der amerikanischen Skala liegen durchweg um 3,8 Skalenteile höher als die Angaben nach der deutschen Skala.

Über die Eigenart der logarithmischen Skala sei hier noch eine kleine Bemerkung eingeschaltet. Die logarithmische Beziehung zwischen Lautstärke und Schallintensität bedingt, daß die Lautstärke mit wachsender Schallintensität nur sehr langsam ansteigt. Einer Verdoppelung der Schallintensität entspricht nur ein Lautstärkenzuwachs von $10 \log_{10} 2 =$ rund 3 Phon. Löwengebrüll beträgt (rechte Spalte der Fig. 4) rund 90 Phon; 2 Löwen erreichen also nicht etwa 180, sondern nur 93 Phon, 4 Löwen 96 Phon, bis dann bei 32 568 Löwen die Schmerzgrenze überschritten wird[1].

Neben dem Begriff der Schallintensität ist wichtig der Begriff der Schalleistung; hierunter versteht man die gesamte in der Zeiteinheit von der Schallquelle durch eine sie umschließende Fläche abgestrahlte Energiemenge; man erhält also die Schallleistung durch Integration der Schallintensität über eine geschlossene, die Schallquelle umgebende Fläche, $L = \oint I \, dF$.

Über die Werte der von verschiedenen Schallquellen abgestrahlten Leistungen gibt die nebenstehende Tabelle 4 Auskunft.

Tabelle 4.

Unterhaltungssprache im Mittel etwa	$7{,}5 \cdot 10^{-6}$ W
Spitzenleistung der Stimme	$2 \cdot 10^{-3}$ W
Geige, fortissimo	10^{-3} W
Piston	$5 \cdot 10^{-3}$ W
Orgel	$2 \cdot 10$ W
Großlautsprecher bis zu etwa . . .	10^{2} W

Nach Erörterung der allgemeinen Schallfeldfragen seien jetzt kurz die Fragen der Schallerzeugung gestreift.

Ein ideal einfacher „Schallstrahler" ist die sogenannte „atmende Kugel" (Fig. 5). Dieser Strahler arbeitet in der Weise, daß der Kugelradius gemäß $R = R_0 + \Delta R \cos \omega t$, das Kugelvolumen also gemäß $V = V_0 + \Delta V \cos \omega t$ pulsiert.

Der Ansatz für das Geschwindigkeitspotential ist (bei einem Kugelradius $R < \lambda/2\pi$) identisch mit dem Ansatz des Geschwindigkeitspotentials einer punktförmigen Druck-

[1] Die Angaben gelten selbstverständlich nur in grober Annäherung, da am Beobachtungsort durch Verdoppelung der Anzahl der Schallquellen die Schallintensität praktisch nicht genau verdoppelt wird!

störung; das Schallfeld der atmenden Kugel ist — wie auch ohne weiteres rein anschaulich zu erkennen — kugelsymmetrisch. Durch die obenstehend gebrachten Differentialoperationen können Druckamplitude und Geschwindigkeitsamplitude, aus diesen dann die Schallintensität, und schließlich durch Integration der Intensität über eine die Schallquelle umschließende Fläche die abgestrahlte Leistung der atmenden Kugel bestimmt werden. Es wird $L = \frac{2\pi\varrho\omega^4 \Delta R \cdot R_0^4}{c}$. Diese Beziehung läßt sich schreiben: $L = R_s \cdot \frac{\Delta R'^2}{2}$, wenn mit $\Delta R' = \omega \cdot \Delta R$ die Geschwindigkeitsamplitude der Kugeloberfläche bezeichnet wird. R_s ist der „Strahlungswiderstand" des Strahlers; es ist dieser Begriff ganz analog dem Begriffe des Strahlungswiderstandes von Antennen; so wie im elektrischen Falle Strahlungswiderstand mal Quadrat des Effektivstromes die abgestrahlte elektrische Leistung bedeutet, ist im akustischen Fall der Strahlungswiderstand mal dem Quadrat der effektiven Oberflächengeschwindigkeit die abgestrahlte Schalleistung eines Schallstrahlers.

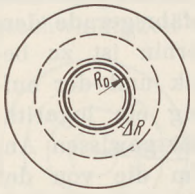


Fig. 5. „Atmende" Kugel.

Neben der in der gesamten Oberfläche gleichphasig schwingenden atmenden Kugel kennt man auch Kugelstrahler, die mit verschiedener Phase und Amplitude an den einzelnen Teilen der Oberfläche schwingen. So zeigt Fig. 6 eine Kugel, welche hin und her oszilliert; auf einem größten Kreise dieser Kugel liegende Punkte führen nur tangentiale, nicht aber radiale Bewegungen aus, dieser größte Kreis ist ein „Knotenkreis". Es ist ohne weiteres anschaulich, daß das Schallfeld eines solchen Strahlers nicht kugelsymmetrisch sein kann; die Punkte, die auf der durch den Knotenkreis gelegten Ebene liegen, werden von der rechten bzw. linken Kugelhälfte aus gegenphasig erregt; in diesen Ebenen wird also überall die resultierende Erregung gleich Null. Ein derartiger Kugelstrahler strahlt „polarisiert" [1]. Auf den längs der Bewegungsachse liegenden Punkten ist die Erregung eine maximale. Fig. 6 zeigt dann weiterhin noch einen Kugelstrahler mit zwei Knotenlinien. Ganz allgemein bezeichnet man die Strahler nach der Zahl ihrer Knotenlinien; man spricht also von der atmenden Kugel als von einem Kugelstrahler nullter Ordnung usw. Das Geschwindigkeitspotential und damit auch der Strahlungswiderstand der verschiedenen Arten von Kugelstrahlern ist berechenbar. Die Berechnungen zeigen, daß bei sonst gleichen Ausmaßen der Strahlungswiderstand des Strahlers nullter Ordnung der größtmögliche ist; die Strahler höherer Ordnung strahlen weniger. Interessant ist, daß wertvolle Geigen in mittleren Frequenzgebieten — etwa bei 800 Hz — in einer dem Kugelstrahler nullter Ordnung sehr ähnlichen Schwingungsform schwingen; sie weisen in diesem Gebiete nahezu keine Knotenlinien auf, so daß sie also ein Maximum von Schallabstrahlung erreichen. Weniger gute Geigen schwingen im Gegensatz hierzu mit ausgesprochenen Knotenlinien, so daß sie weit schlechter strahlen.

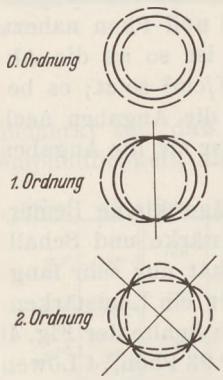


Fig. 6. Kugelstrahler verschiedener Ordnung.

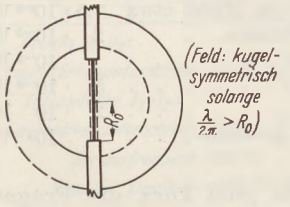


Fig. 7. Kolbenmembran.

Eine atmende Kugel technisch genau zu realisieren, dürfte schwer möglich sein. Der atmenden Kugel sehr ähnlich verhält sich aber (für lange Wellen $R_s \ll \lambda/2\pi$) eine in der Öffnung einer großen Schallwand eingebaute, in ihrer ganzen Fläche gleichphasig schwingende in sich starre Kolbenmembran (Fig. 7). Jede Hälfte des Schall-

[1] Der Ausdruck „polarisiert" darf nicht mit dem Ausdruck „polarisiert" bei optischen Wellen verwechselt werden; bei optischen Wellen bezieht er sich auf die Schwingungsrichtung transversaler Wellen, in der Akustik hingegen auf die Schallfeldkonfiguration.

feldes für sich ist dann kugelsymmetrisch, beide Hälften untereinander freilich schwingen gegenphasig. Der Strahlungswiderstand der Kolbenmembran ist $R_s = \frac{\varrho \cdot \pi \cdot R_0^4 \cdot \omega^2}{c}$.

Mit Kolbenmembranen läßt sich, wie H. Riegger in einer grundlegenden Arbeit 1924 zeigen konnte, Schalleistung frequenzunabhängig abstrahlen, wenn man den mit der Frequenz zunehmenden Strahlungswiderstand durch eine mit der Frequenz abnehmende Membranamplitude kompensiert; die mit der Frequenz abnehmende Membranamplitude erreicht man dadurch, daß man die Eigenschwingung der Membran sehr tief legt; eine derartige „massengehemmte Membran" besitzt eine mit dem Quadrat abnehmende Amplitude.

Ist die Beziehung $R_0 \ll \lambda/2\pi$ nicht mehr erfüllt, so treten grundsätzlich neue Erscheinungen auf. Die Kugelsymmetrie der beiden Schallfeldhälften geht dann verloren; es machen sich Richtwirkungseffekte bemerkbar.

Fig. 8 zeigt, daß zwar die auf der Mittelnormalen der Membran gelegenen Schallfeldpunkte von den einzelnen Teilen der Membran noch praktisch gleichphasig erregt werden, nicht aber im allgemeinen die seitlich gelegenen Schallfeldpunkte. Für die seitlich liegenden Punkte macht sich ein Laufzeitunterschied der von den einzelnen Membranteilen herrührenden Erregungen bemerkbar; dieses führt zu Interferenzeffekten. Die Interferenzerscheinungen sind ganz analog denen, die beim Auffallen von Licht auf eine enge Öffnung auftreten (Fraunhofersche Beugungserscheinung).

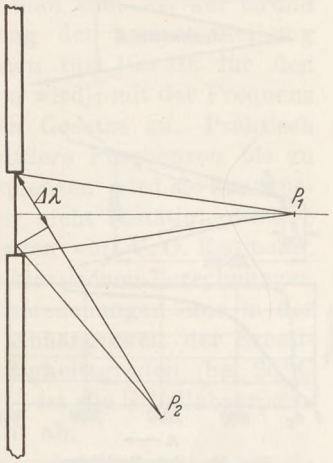


Fig. 8. Richtwirkung einer Kolbenmembran.

Fig. 9a, b zeigt Richtwirkungsdiagramme von Kolbenmembranen, mit abnehmender Wellenlänge nimmt die Schallbündelung stark zu. Ganz ähnlich sehen die Richtwirkungsdiagramme von Schalltrichtern aus, deren Länge groß gegen den Öffnungsquerschnitt ist. Auch bei diesen findet ja in erster Annäherung eine phasengleiche Erregung einer größeren Fläche, der Trichteröffnung, statt, während außerhalb der Öffnungsfläche die Erregung Null ist. Auch die menschliche Stimme wird (besonders in den hohen Frequenzbereichen) stark gerichtet abgestrahlt; neben der Trichterwirkung des Mundes macht sich hier für rückwärts gelegene Schallfeldpunkte allerdings noch eine weitere Erscheinung, die Schattenwirkung des Kopfes, bemerkbar. Fig. 9c zeigt ein Richtwirkungsdiagramm für den Sprachlaut „S", und zwar sind die Komponenten im Bereiche von etwa 5 bis 6000 Hz untersucht worden. Die Richtwirkung ist eine sehr ausgesprochene; das Diagramm zeigt einleuchtend, wie wichtig es ist, bei Sprachübertragungen in Richtung auf das Mikrophon zu sprechen.

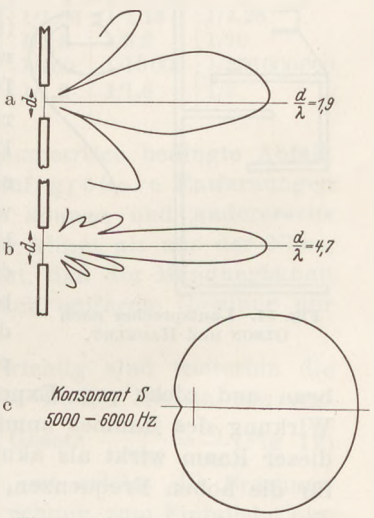


Fig. 9. Richtwirkungsdiagramme.

Baut man eine Schallquelle in einen Trichter ein, so wird die Schallabstrahlung in einen engen Raumwinkel (X) zusammengepreßt; es wächst dann das Geschwindigkeitspotential mit $1/X$, die Intensität also mit $1/X$. Integriert man die Intensität über eine die Schallquelle umschließende Fläche, zwecks Berechnung der Schalleistung, so zeigt sich, daß diese proportional $1/X$ wächst; auch der Strahlungswiderstand wächst durch Einbauen in einen Trichter demgemäß mit $1/X$.

Die durch Einbau einer Schallquelle in einen Trichter bedingte Erhöhung des Strahlungswiderstandes bedeutet im allgemeinen bei Luftschallsendern, insbesondere

bei Membransendern mit Membranen verhältnismäßig großer Masse, eine Verbesserung der Anpassung an den Schallwiderstand des Mediums.

Der Strahlungswiderstand konisch geformter Trichter nimmt mit der Frequenz zunächst ebenso wie der Strahlungswiderstand der in einer ebenen Schallwand liegenden Öffnung — man kann ja eine ebene Schallwand als einen Trichter vom Öffnungswinkel 2π auffassen — nach einem quadratischen Gesetze zu. Derartige Trichter sind also vorteilhaft mit einer „massengehemmten" Membran zu betreiben, wenn frequenzunabhängige Abstrahlung gewünscht wird. Aus Gründen, auf die wir gleich zu sprechen kommen, ist günstiger als ein konisch geformter Trichter ein Exponentialtrichter, ein Trichter also, dessen Fläche gemäß $F = F_0 e^{mx}$ zunimmt. Die Berechnung zeigt, daß ein solcher Trichter unterhalb einer gewissen Grenzfrequenz $n_0 = \frac{m \cdot c}{4\pi}$ überhaupt nicht strahlt; nach Erreichung der Grenzfrequenz springt der Strahlungswiderstand dann sehr rasch auf einen konstanten Grenzwert (Fig. 10). Zur frequenzunabhängigen Abstrahlung unter Benutzung eines Exponentialtrichters ist demnach die massengehemmte Membran nicht geeignet; es muß ein reibungsgehemmtes System, dessen Amplitude wie $1/\omega$ abnimmt, verwendet werden.

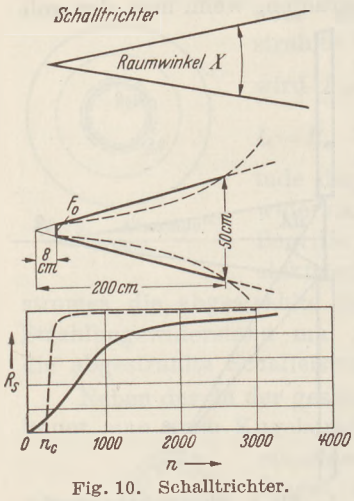


Fig. 10. Schalltrichter.

Der praktisch große Vorteil des Exponentialtrichters vor dem konischen Trichter liegt darin, daß er auch bei endlicher Länge einen praktisch stetig verlaufenden Übergang zum freien Medium aufweist; es können sich keine Resonanztöne ausbilden, wie diese beim konischen Trichter mit seiner plötzlichen Querschnittsänderung am Trichterende auftreten.

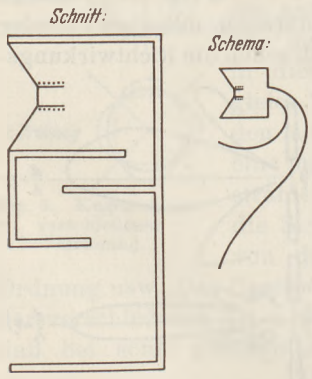


Fig. 11. Lautsprecher nach Olson und Hackley.

Einen modernen Lautsprecher amerikanischer Bauart (nach H. F. Olson und R. A. Hackley[1]), dessen Wirkungsweise nach dem eben Gesagten verständlich ist, zeigt Fig. 11. Die Verhältnisse liegen hier so, daß die hohen Töne unmittelbar nach der Membranvorderseite, also nach Art der Kolbenmembran, abgestrahlt werden, während die Abstrahlung der tiefen Töne durch den Exponentialtrichter vermittelt wird. Daß die tiefen Töne nach der Vorderseite hin nur wenig zur Gesamtabstrahlung beitragen, liegt an dem im Verhältnis zum Strahlungswiderstand des Trichters bei tiefen Frequenzen sehr kleinen Strahlungswiderstand der Kolbenmembran. Daß andererseits die hohen Frequenzen praktisch nur unmittelbar von der Vorderseite der Membran und nicht vom Exponentialtrichter bestrahlt werden, hat seinen Grund in der Wirkung des Raumes unmittelbar zwischen Membranrückseite und dem Trichterhals; dieser Raum wirkt als akustische Kapazität (vgl. S. 229), er bildet einen Kurzschluß für die hohen Frequenzen.

2. Schallausbreitung auf große Entfernungen.

Für die Schallausbreitung auf große Entfernungen entscheidend wichtig sind die Absorptionserscheinungen und die Erscheinungen der Brechung.

Die Absorption bedingt, daß die Schallamplituden weit rascher abnehmen als nach der geometrischen Wellenkonfiguration zu erwarten, daß also beispielsweise bei Kugel-

[1] Bemerkt sei, daß eine Aufteilung des gesamten Frequenzbandes auf zwei oder mehr Strahlerarten auch bei deutschen Schallsenderanordnungen bereits vielfach mit bestem Erfolge durchgeführt wurde.

wellen die Amplituden sich schneller verringern als nach dem $1/r^2$-Gesetz. Zur geometrisch bedingten Amplitudenabnahme tritt noch eine zusätzliche von der Absorption herrührende Abnahme, und zwar läßt sich diese durch einen Faktor $e^{-\alpha r}$ darstellen, wobei α den Absorptionskoeffizient und r die Entfernung bedeutet.

Einen Anhalt über die Größe der Schallabsorption hat man zunächst auf Grund theoretischer Überlegungen, welche sich auf die Auswirkung der inneren Reibung stützen, gewonnen. Diese klassischen Überlegungen ergaben für 100 Hz für den Absorptionskoeffizient einen Wert 10^{-4} (wenn r in km gemessen wird); mit der Frequenz nimmt der Absorptionskoeffizient nach einem quadratischen Gesetze zu. Praktisch würde hieraus folgen, daß die Absorption für tiefe und mittlere Frequenzen bis zu etwa 10 km Entfernung keine Rolle spielt, erst für hohe Frequenzen wird sie nennenswert bemerkbar. Diese Voraussage der Theorie hat sich aber nicht bestätigt. Neuere Untersuchungen, und zwar insbesondere sehr wichtige Arbeiten von V. O. Knudsen, zeigen, daß die Schallabsorption weit größer ist, als nach den klassischen Berechnungen zu erwarten; es ergab sich auch nach den Knudsenschen Untersuchungen eine in der klassischen Theorie in keiner Weise vorausgesagte starke Abhängigkeit der Schallabsorption von der Luftfeuchtigkeit. Bei bestimmten Feuchtigkeitsgraden (bei 20° C und 3000 Hz bei einer relativen Feuchtigkeit von etwa 12%) ist die Schallabsorption eine maximale; sie nimmt dann mit wachsender Feuchtigkeit ab.

Nach den Messungen von Knudsen besitzt der Absorptionskoeffizient bei 100 Hz und 50% Feuchtigkeit etwa den Wert $3 \cdot 10^{-3}$, bei 80% Feuchtigkeit den Wert rund $2{,}1 \cdot 10^{-3}$. Im Bereiche der größeren Feuchtigkeiten nimmt die Schallabsorption mit der Frequenz genähert nach einem quadratischen Gesetz zu. Auf Grund der Knudsenschen Werte läßt sich nebenstehende Tabelle 5 zusammenstellen.

Tabelle 5. Amplituden nach km Weg (50% Feuchtigkeit).

Frequenz	1 km	2 km	4 km	8 km
100	1/1,03	1/1,06	1/1,13	1/1,28
1000	1/1,35	1/1,8	1/3,2	1/10
3200	1/20	1/400	1/16000	1/256000000
$3200_{\text{klass.}}$	1/1,1	1/1,2	1/1,6	1/3

Die Tabelle 5 zeigt, daß die Schallabsorption oberhalb etwa 1000 Hz sehr rasch ansteigt; bei 3200 Hz ist sie bereits so groß geworden, daß die Amplitude nach 4 km Laufweg allein durch die Absorption bereits auf $^1/_{16000}$ fällt; hierzu tritt dann noch der geometrisch bedingte Abfall.

Die Tabelle 5 zeigt anschaulich, daß Schallsignale auf größere Entfernungen nur bei entsprechend tiefer Frequenz übermittelt werden können und andererseits zusammengesetzter Schall in großen Entfernungen dumpfer klingt als aus der Nähe, eine Feststellung, die mit der Beobachtung in Einklang steht, daß der Mündungsknall sehr weit entfernter Geschütze sehr dumpf klingt und auch entfernte Gewitter nur als ein dumpfes Grollen bemerkbar werden.

Für die Schallausbreitung auf weite Entfernungen wichtig sind weiterhin die Brechungseffekte. Schallwellen werden an der Grenzfläche zweier Medien von verschiedenen Schallgeschwindigkeiten c_1 bzw. c_2 gemäß dem Gesetz $\frac{\sin \varphi_1}{\sin \varphi_2} = \frac{c_1}{c_2}$ (Fig. 12) gebrochen. Ist die Schallgeschwindigkeit c_2 größer als c_1, so erfolgt die Brechung vom Einfallslot weg; ist c_2 kleiner als c_1, so erfolgt die Brechung zum Einfallslot hin.

Nach dem oben Gesagten (S. 220) hängt die Schallgeschwindigkeit von der Temperatur ab. Bei Schallausbreitung auf große Entfernung werden sich Brechungseffekte insbesondere dann bemerkbar machen, wenn Temperaturunterschiede in einzelnen Teilen des Mediums vorhanden sind. Schall beispielsweise, welcher die Erdoberfläche schräg nach oben verläßt, wird durch Brechung dann zur Erdoberfläche wieder zurückkommen, wenn die Temperatur nach oben hin zunimmt, wenn also beispielsweise nach starkem Frost erstmalig Warmluft eingefallen ist. Es kann dann die Intensität an entfernten Punkten wesentlich größer werden, als nach dem $1/r^2$-Gesetz unter Berücksichtigung der Schallabsorption zu erwarten ist (vgl. Fig. 12).

Andererseits wird bei nach oben abnehmender Temperatur schräg ablaufender Schall immer mehr nach der Richtung der Erdnormale hin gekrümmt werden; in diesem Falle wird also die Reichweite wesentlich geringer sein als im vorerwähnten Fall. Ganz ähnlich wirkt sich Wind aus, dessen Stärke nach oben hin zunimmt; der Wind bedingt ja eine seiner Geschwindigkeit entsprechende Änderung der Schallgeschwindigkeit. In der mit dem Winde gleichlaufenden Richtung wird dann der Schall nach der Erde hin zurückgebogen werden, in der Richtung gegen den Wind wird er von der Erde abgedrängt.

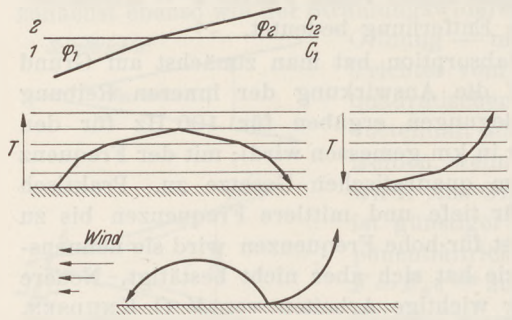


Fig. 12. Schallbrechung.

Die geschilderten Brechungseffekte können dazu führen, daß der Schall jenseits von sogenannten toten Zonen in sehr großen Entfernungen wieder hörbar wird, ein Effekt, welcher bei starken Explosionen häufig beobachtet wurde.

Die eigenartigen, bei der Schallausbreitung auf große Entfernung auftretenden Erscheinungen haben — wie hier noch kurz eingefügt werden darf — bemerkenswerte Rückwirkungen auf kriegerische Begebenheiten gehabt. So hat z. B. am 15. 8. 1760 bei Liegnitz der österreichische Feldherr Daun den Geschützdonner der in etwa 8 km Entfernung entbrannten Schlacht, in der Friedrich der Große Laudon schlug, nicht gehört; er ist dem verbündeten Feldherrn nicht zu Hilfe gekommen. Als am 16. 8. 1705 der Herzog von Vendôme bei Cassano an der Adda den Angriff des Prinzen Eugen abschlug, kam ihm sein in etwa 10 km Entfernung mit großer Truppenmacht stehender Bruder nicht zu Hilfe — er entschuldigte sich später damit, daß er den Kanonendonner nicht gehört habe. Ob freilich derartige Entschuldigungen in solchen Fällen, in denen in weit größerer Entfernung jenseits der toten Zonen der Schall wieder gehört worden ist, bei kriegsgerichtlichen Entscheidungen stets anerkannt worden sind, entzieht sich meiner Kenntnis.

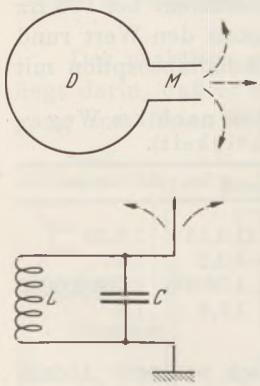


Fig. 13. Helmholtz-Resonator. Elektrischer Schwingungskreis.

Auch für die Hörbarkeit von Wasserschallsignalen spielt die durch Temperaturschichtungen bedingte Schallbrechung eine entscheidende Rolle; die Reichweite von Wasserschallsendern ist bei Versuchen im Winter außerordentlich viel größer als bei Versuchen im Sommer, eine Tatsache, die bei Leistungsvergleichen von Anlagen unbedingt beachtet werden muß.

3. Vorgänge in geschlossenen akustischen Systemen.

Zunächst sei ein besonders einfaches Gebilde behandelt: der Helmholtz-Resonator. Die im Resonatorhals enthaltene Luftmasse M (Fig. 13) schwingt als Ganzes, also kolbenähnlich, hin und her. Die im Resonatorhohlraum eingeschlossene Luftmenge erfährt hierbei Kompressionen und Dekompressionen, der Resonatorhohlraum wirkt also als Federung (D). Es läßt sich hiernach — wenn man auch noch die Reibungseffekte und die Energieabgabe durch Strahlung in einem Reibungsglied berücksichtigt — die Kraftgleichung aufstellen $M\frac{d^2x}{dt^2}+R\frac{dx}{dt}+Dx=0$. Diese Gleichung ist ganz entsprechend gebaut der Differentialgleichung der elektrischen Schwingung $L\frac{d^2i}{dt^2}+R\frac{di}{dt}+\frac{1}{c}i=0$. Analog zu den Bezeichnungen der Bauelemente des elektrischen Kreises spricht man auch bei dem akustischen Schwingungskreis von der

„Akustischen Induktivität" einer Luftmasse bzw. „der akustischen Kapazität" eines Hohlraumes. Genau wie im elektrischen Falle berechnet sich die Eigenfrequenz des akustischen Resonators zu $n_0 = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{D}{M}}$, bzw. nach Einsetzen der durch die geometrischen Verhältnisse des Resonators und die Gasgesetze gegebenen Werte für die akustische Induktivität und akustische Kapazität zu $n_0 = \frac{c}{4\pi}\sqrt{\frac{\pi d^2}{l \cdot v}}$. [$v$ Resonatorvolumen, d Durchmesser des Halses, l Länge des Halses (einschließlich der sogenannten „Mündungskorrektur")].

Aus akustischen Induktivitäten und akustischen Kapazitäten lassen sich analog zu den entsprechenden elektrischen Systemen Gebilde zusammenstellen, welche Filtereigenschaften besitzen. Fig. 14 zeigt ein der Kondensatorkette analoges akustisches „Hochpaßfilter". Die seitlichen Stutzen wirken als Induktivität, die Kammern zwischen den Stutzen als Kapazität.

Bei dem der Spulenkette analogen akustischen Tiefpaßfilter sind seitlich der Leitung kapazitiv wirkende Kammern angebaut; die Verbindungen zwischen den Kammern wirken als Induktivität. Die Grenzfrequenz des Hochpaßfilters liegt bei $n_0 = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \frac{1}{\sqrt{4\,L \cdot C}}$, diejenige des Tiefpaßfilters bei $n_0 = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{4}{L \cdot C}}$.

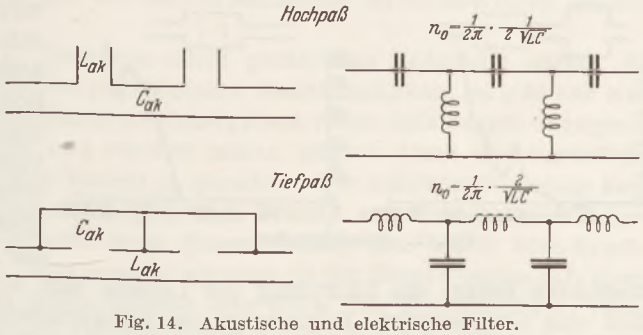


Fig. 14. Akustische und elektrische Filter.

Die genaue Diskussion des Verhaltens akustischer Filter, welche in enger Anlehnung an die Erfahrungen in der Elektrizitätslehre durchgeführt wurde, haben die technische Entwicklung sehr leistungsfähiger Filter, insbesondere auch für Verbrennungsmotoren, ermöglicht. Sehr wichtig ist, den „Eingangswiderstand" der Filter richtig zu wählen; neben akustischen Nachteilen kann eine unrichtige Dimensionierung des Eingangswiderstandes unter Umständen eine starke Verschlechterung des mechanischen Wirkungsgrades des Verbrennungsmotors hervorrufen, während man bei geschickt gewähltem Eingangswiderstand sogar zu Verbesserungen des mechanischen Wirkungsgrades kommen kann. M. Kluge hat für Kraftwagenmotoren Filter gebaut, bei denen unmittelbar hinter dem Auslaßstutzen des Motors eine große akustische Kapazität eingeschaltet ist (Fig. 15). Das Filter ist dann so beschaffen, daß es oberhalb etwa 60 Hz stark zu dämpfen beginnt, so daß die subjektiv als besonders störend empfundenen höheren Komponenten unterdrückt werden. Für Kraftradfilter liegen die Verhältnisse nicht ganz so günstig; die Anbringung einer größeren akustischen Kapazität ist wegen Platzmangels meist nicht möglich, Kraftraddämpfer beginnen meist erst eine Oktave höher zu wirken als Kraftwagendämpfer. Immerhin sind aber auch bei Krafträdern sehr erhebliche Dämpfungswerte zu erreichen; es zeigt sich jedenfalls, daß der Lärm der meisten Krafträder völlig unnötig ist und nur auf falschen Dämpferkonstruktionen beruht.

Die bisher behandelten geschlossenen akustischen Systeme sind solche mit räumlich getrennten Bauelementen, also insbesondere solche mit räumlich getrennter Induktivität und Kapazität. Betrachtet man längere Rohrleitungen, so ist diese Bedingung nicht mehr erfüllt; akustische Induktivität und akustische Kapazität sowie der Widerstand sind räumlich nicht mehr getrennt. Insbesondere bei der Rohrleitung gleichen Querschnitts sind Induktivität, Kapazität und Widerstand kontinuierlich verteilt, also ebenso angeordnet wie bei der homogenen Telegraphenleitung; genau wie dort werden die

Vorgänge in der Leitung durch eine Differentialgleichung von der Form $\frac{\partial^2 p}{\partial x^2} = \gamma^2 \frac{\partial^2 p}{\partial t^2}$ beschrieben, wobei der Ausbreitungskoeffizient γ aus einem reellen und einem imaginären Teil gemäß $\gamma = \beta + j\alpha$ (α „Winkelmaß“, β „Dämpfungsmaß“) zusammengesetzt ist; es ergibt sich also, daß die Amplitude mit der Entfernung x gemäß $e^{-\beta x}$ abnimmt.

Praktisch interessant ist besonders die enge akustische Leitung; für sie ergibt sich die Dämpfungskonstante $\beta = 3{,}1 \cdot 10^{-5} \sqrt{n/R}$ (R = Rohrradius), und zwar kommt diese Dämpfung durch die innere Reibung des Gases und die Wärmeleitung zustande. Die Formel zeigt, daß die Dämpfungskonstante mit dem Rohrdurchmesser abnimmt; enge Rohre dämpfen also stark, weite wenig. Für Sprachrohre beispielsweise ist ein Mindestdurchmesser von einigen Zentimetern erforderlich, wenn eine sichere Sprachverständlichkeit auf eine größere Anzahl Meter erreicht werden soll. Andererseits leiten genügend weite Rohre — wie man in der Praxis leider an zahlreichen Entlüftungskanälen beobachten kann — den Schall ausgezeichnet weiter. Abhilfe schafft hier eine Innenauskleidung der Rohrwand mit einem stark absorbierenden Belag; die Dämpfung der Leitung läßt sich dann leicht so weit steigern, daß eine nennenswerte Fortleitung von Störgeräuschen nicht zu befürchten ist; der Strömungswiderstand wächst hierbei nur unwesentlich an.

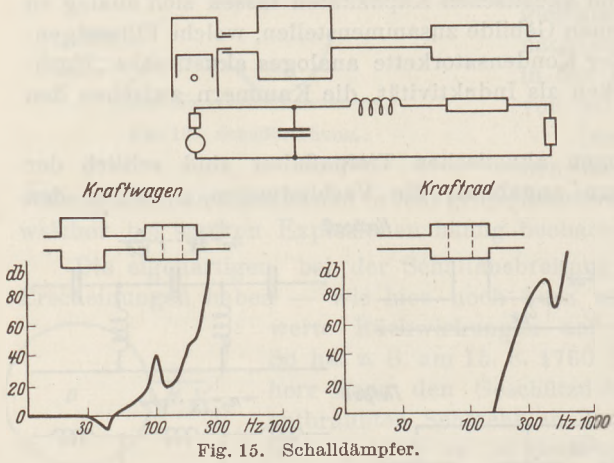


Fig. 15. Schalldämpfer.

Die genaue Kenntnis der Vorgänge in Schalleitungen mit kontinuierlich verteilter Induktivität, Kapazität und Widerstand sind wichtig geworden nicht nur für ausgesprochen technische Zwecke, sondern auch für Meßzwecke, und zwar für die Aufgabe der Messung akustischer Scheinwiderstände. Ganz wie im elektrischen Falle wirkt der Abschlußwiderstand der Leitung auf die Vorgänge in der Leitung zurück. Je nach Größe und Phase des Abschlußwiderstandes ergibt sich Amplitude und Phase der reflektierten Welle. Man kann dann ganz analog wie bei elektrischen Leitungen durch Messungen an der Leitung selbst die Werte des Abschlußwiderstandes ermitteln, ein Verfahren, das praktisch mit großem Erfolg, und zwar insbesondere für Messungen des Trommelfellwiderstandes, benutzt worden ist.

4. Schlußbemerkungen.

Die vorstehenden Ausführungen lassen erkennen, daß die moderne Akustik auf theoretisch wohl untermauertem Grunde steht, eine Tatsache, die sich auch auf die technischen Anwendungen der Akustik — erinnert sei an Fragen der klanggetreuen Schallübertragung, der Lärmbekämpfung, der Signalübertragung, der akustischen Meßtechnik und der Bauakustik — auf das nützlichste ausgewirkt hat. Besonders wichtig scheint es, die Akustik nicht als ein Spezialgebiet zu betrachten, sondern die akustischen Vorgänge im Rahmen einer allgemeineren physikalischen Betrachtungsweise zu erörtern. Gerade den Analogien zu anderen Gebieten der Physik, und zwar insbesondere zur Optik und zur Elektrizitätslehre, verdanken wir ja viele Aufschlüsse über akustische Probleme.

Kleine Mitteilungen.

Über einige physikalische Begriffe.

Von **Richard Rinkel** in Köln.

Es sei mir gestattet, hier in aller Kürze einige allgemeine physikalische Begriffe zu erörtern, die in der Literatur oft wiederkehren. Es kommt mir vor, als ob die Klarheit in der Anschauung dieser Begriffe neuerdings zu wünschen übrig läßt. Wenn auch der Naturwissenschafter selbst wohl in den meisten Fällen innerlich weiß, was er meint, wenn er modern gewordene Redensarten und Worte gebraucht, so ist das doch außerhalb dieser Kreise oft nicht der Fall. Naturwissenschaftliche Besprechungen finden auch in die Laienwelt Eingang, wo man solchen Redensarten und Worten eine viel weitergehende Bedeutung beilegt, als sie in Wirklichkeit haben. So ist es gekommen, daß die Achtung vor der Naturwissenschaft etwas ins Wanken geraten ist, als ob auch ihre Erkenntnisse einen mehr oder weniger unbestimmten Wahrheitswert enthielten. Leute, die sich interessant machen wollen, jonglieren dann mit diesen Redensarten in einer Weise herum, die vor allem in der Laienwelt ganz falsche Vorstellungen erweckt. Für die Jugend, die erst anfängt, sich mit der Naturwissenschaft zu beschäftigen, ist das besonders bedenklich.

1. Das Kausalitätsgesetz. Eine vor allem gefährliche Redensart lautet: „Es gibt keine durch Kausalität begründete physikalische Gesetzmäßigkeit, es gibt nur eine statistische Gesetzmäßigkeit als das Durchschnittsergebnis vieler Zufallserscheinungen." Wer einen solchen Satz ausspricht und wörtlich meint, leugnet damit das eigentliche Wesen der Naturwissenschaft; dieses besteht ja gerade in der Anerkennung eines kausalen Zusammenhanges der Erscheinungen nach dem Prinzip von Ursache und Folge; jeder Forscher, jeder Techniker arbeitet nach diesem Prinzip und würde böse Ergebnisse sehen, wenn er es nicht täte. Was nennen wir denn in der Naturwissenschaft überhaupt ein Gesetz? Wir fassen in einem solchen eine Reihe von Erscheinungen, ihren Zusammenhang und ihre Abhängigkeit von mehr oder weniger Bedingungen und Voraussetzungen möglichst knapp zusammen, liefern damit eine gedrängte Beschreibung von Vorgängen; dieses Gesetz wird um so allgemeiner, umfassender, je größer die Fülle der darin beschriebenen Erscheinungen ist. Es ist ja kein Gesetz, das von uns armen Sterblichen der Natur vorgeschrieben wird, wie die juristischen Gesetze den Menschen ihr Verhalten vorschreiben sollen, sondern eben nur eine möglichst knappe, scharf formulierte „Beschreibung von Vorgängen". Um ein solches Gesetz zu finden, variiert man die Bedingungen der anzustellenden Versuche, und jeder Experimentator bekundet schon damit die Anerkennung der Kausalität. Denn er erwartet aus einer bestimmten Änderung der Anordnung seiner Versuche eine gewisse Änderung der Ergebnisse. Das aber nennt man eben Kausalität.

Wenn es uns nicht möglich ist, dabei die Moleküle oder Atome einzeln zu verfolgen und wir tatsächlich nur ihre Gesamtwirkung beobachten, ihr Durchschnittsergebnis, so ist damit nicht gesagt, daß nicht die Wirkung jedes einzelnen Atoms ebenso kausal bedingt sei wie die Gesamtwirkung. Wird ein Mensch „zufällig" von einem vom Dache fallenden Steine getroffen, so ist doch die Tatsache des Fallens des Steines ebenso kausal bedingt wie das Vorbeigehen dieses Menschen gerade in dieser Straße und zu dieser Zeit. Wenn ein „statistisches" Gesetz sagt, daß im Jahr so und so viel Menschen eines bestimmten Lebensalters im Durchschnitt sterben, so ist doch der Tod jedes einzelnen kausal bedingt, wenn wir auch die causa nicht kennen. Und genau so müssen wir die naturwissenschaftlichen Vorgänge betrachten. Unser Streben geht ja dahin, immer tiefer in die Einzelheiten einzudringen; wie weit wir damit kommen werden, kann kein Mensch sagen. Nur müssen wir daran festhalten, daß auch die kleinste Einzelwirkung, der geringste Einzelvorgang kausal bedingt ist, ob wir nun die Einzelursachen kennen und erkennen können oder nicht. Andernfalls verliert die Naturwissenschaft als eine exakte Wissenschaft ihren eigentlichen höchsten Sinn. In der

Physik insbesondere erzielen wir doch heute schon eine Genauigkeit in der Ermittelung der Ergebnisse von Versuchen und Berechnungen, die kaum noch etwas zu wünschen übrig läßt, vorausgesetzt, daß wir in hinreichendem Maße die Vorbedingungen kennen und sie nach unserem Belieben einrichten können.

2. Die Mathematik. Bei der mathematischen Behandlung und Betrachtung naturwissenschaftlicher Probleme sollte man meines Erachtens eine wichtige Tatsache nicht vergessen. Die Mathematik ist ein wunderbares Gebäude von Gedankenkombinationen, denen die Zahlen oder ihr algebraischer Ersatz unterworfen werden. Einen sachlichen Inhalt bekommt dieses Gebäude aber erst durch die Verbindung der Zahlen mit gegenständlichen Begriffen; ohne eine Benennung, ohne eine Beziehung auf eine bestimmte Einheit bedeutet die Zahl gar nichts. Was heißt 3 oder 5 oder 10 oder sonst irgendeine Ziffer oder Zahl oder irgendein mathematischer Ausdruck? An und für sich haben sie nicht den geringsten Inhalt; es muß eine Benennung dazu kommen, um ihnen einen Inhalt, eine Bedeutung zu geben, kurz eine Beziehung auf eine bestimmte, unserem Vorstellungsvermögen zugängliche Einheit. Erst wenn wir sagen: 3 cm, 5 cm^3, 10 kg usw., haben die Zahlen ihre Bedeutung; ohne diesen Zusatz der Einheiten sind sie leere Wörter. Nur wenn man das vergißt, kann z. B. auch der Begriff der Unendlichkeit Schwierigkeiten machen und zu Paradoxien führen. Unendlich ist ja ebenfalls ein Zahlbegriff, es ist eine unbestimmte Zahl, die ebenfalls wie jede bestimmte Zahl erst einen Inhalt durch die Beziehung auf eine vorstellbare Einheit bekommt. Gibt man dieser unbestimmten Zahl „unendlich" einen solchen Inhalt, dann fallen alle Paradoxa weg. Allgemein möchte ich daher sagen, daß für die Physik z. B. nur solche mathematischen Ansätze und Berechnungen Wert haben, die mit bestimmten physikalischen Einheiten arbeiten; dann kann aber auch am Schlusse nur wieder eine bestimmte vorstellbare physikalische Größe als Ergebnis herauskommen. Ist das bei einer Berechnung nicht der Fall, so scheint mir von vornherein der Ansatz verdächtig, oder es müssen unsere Vorstellungen erweitert, bereichert werden durch neue physikalische Einheiten mit sachlichem Inhalt.

3. Der Ätherbegriff. Viele heutige Physiker verpönen diesen Begriff und ersetzen ihn durch den Begriff des „Feldes". Ist damit auch nur das Geringste erreicht? Natürlich genügt es für Berechnungen der Vorgänge in einem Raum, in dem Kräfte wirksam werden, ganz davon abzusehen, ob dieser Raum mit einem Medium gefüllt ist oder nicht. Wir haben ja keine Ahnung davon, auf welche Weise die Wirkung der Weltkörper aufeinander zustande kommt, obwohl wir sie genau berechnen können. Mancher ist aber mit Rechnungen allein nicht zufrieden. Seine Phantasie sucht eine anschauliche Vorstellung davon zu gewinnen, was natürlich schließlich auf mehr oder weniger materielle Zusammenhänge führen muß; und warum soll das verboten sein? So wertvoll auch die Mathematik für die Physik ist, so läßt sich doch nicht in Abrede stellen, daß auch die Phantasie für den Fortschritt in der Physik eine große Rolle gespielt hat; man denke nur an die Arbeiten Faradays, Robert Mayers und mancher anderen. Daß Licht und Elektrizität Zeit zu ihrer Fortpflanzung gebrauchen, läßt doch darauf schließen, daß ihre Energie zwischen den Augenblicken des Sendens und Empfangens sich von Punkt zu Punkt fortpflanzt und also in einem gewissen Augenblick an einem gewissen Punkte sein muß. Wer das Bedürfnis nach einer anschaulichen Vorstellung hat, wird da einen Träger der Energie fordern, einen Bewegungszustand des Trägers, und wenn er diesen Träger Äther nennt, so gibt das jedenfalls ein lebendigeres Bild, als wenn man nur einfach von Feld spricht. Der nach anschaulichen Vorstellungen suchende Physiker scheint mir ebenso berechtigt zu sein wie der rein mathematische Physiker; sein Weltbild wird jedenfalls lebensvoller aussehen, während das des reinen Mathemathikers nur ein Gemälde von Zahlen darstellt. So wie die Veranlagungen der Menschen, ihre Charaktere und Temperamente verschieden sind, so wird auch ihre naturwissenschaftliche Betrachtungsweise sich unterscheiden, und wir haben alle Ursache, diese Mannigfaltigkeit nicht einzuschränken. Im Gebiete der Naturwissenschaft sollte

es keine Fanatiker einseitiger Richtung geben. Darum lassen wir ruhig zu, wenn auch heute noch manche vom Äther als dem Träger der „Feldenergie" sprechen. Vielleicht gelingt es doch eines Tages, diesem rätselhaften Wesen etwas näher zu kommen.

Potentialverteilung in Elektronenröhren, dargestellt durch freigespannte elastische Membranen.

Von **Curt Hagen** in Hamburg.

Für das Verständnis der elektrischen Vorgänge in Elektronenröhren ist die Darstellung des grundsätzlichen Verlaufes der Potentialverteilung zwischen den Elektroden sehr von Nutzen. Während beispielsweise der Vorgang der Glühemission als Verdampfung von Leitungselektronen aus der Kathode oder der Einfluß der Raumladung auf den Emissionsstrom anschaulich leichter zu erfassen ist, läßt sich das Zusammenwirken von Anoden- und Gitterspannung bei der Stromsteuerung schon schwieriger überblicken, besonders, wenn man sich ein Bild des Durchgriffes des Anodenpotentials bei verschiedenen Gittervorspannungen entwerfen will. Nun ist die potentialtheoretische Berechnung von Spannungs- und Kraftfeldern oft schon für verhältnismäßig einfache Elektrodensysteme recht schwer und bei Anordnungen, wie sie etwa die Mehrgitterröhren enthalten, zumeist nicht mehr durchführbar. Man mußte daher Verfahren ersinnen, die auch ohne Rechnung zur Auffindung der Feldverteilung einer vorgegebenen Anordnung führen.

Als günstiger Umstand tritt in vielen Fällen die Tatsache auf, daß sich die räumliche Feldverteilung mit großer Annäherung durch eine flächenhafte, zweidimensionale Darstellung wiedergeben läßt, so wie es beispielsweise genügt, das Magnetfeld einer stromdurchflossenen geraden Doppelleitung in einer zu dieser senkrechten Durchschnittsebene abzubilden.

Elektrolytischer Trog. Das am häufigsten angewendete Hilfsmittel für die Aufzeichnung von Potentiallinien ist der elektrolytische Trog. Dieser besteht aus einer flachen Wanne (z. B. eine größere Entwicklerschale), die schwach angesäuertes Wasser oder einen anderen geeigneten Elektrolyten enthält. In diesen Trog bringt man eine vergrößerte Nachbildung der zu untersuchenden Elektrodenanordnung. Ein solches Metallmodell kann auch aus einem vergrößerten Teilausschnitt des Originalsystems bestehen, so etwa bei einer Radioröhre mit zylindrischem Aufbau aus einem Quadrantsektor. Hierbei muß eine Schnittebene gewählt werden, die das räumliche Potentialfeld in einer ebenen Verteilung darzustellen gestattet. Die Schieber eines an den Klemmen einer Mittelfrequenzmaschine (500 bis 1500 Hz) liegenden Potentiometers sind mit den im Trog befindlichen Elektroden — Nachbildungen von Kathode, Anode und den Gittern — verbunden. Ihre Einstellung erfolgt derart, daß die abgegriffenen Wechselspannungsamplituden den statischen Spannungen im Betriebszustand der Elektronenröhre entsprechen. Das Aufzeichnen der Potentiallinien geschieht mit einem Bleistift, dessen Mine in Reihe mit einem Telephon bzw. Lautsprecher an einen weiteren Potentiometerschieber geschaltet ist. Dieser Schieber wird nun nacheinander an verschiedene Spannungspunkte des Potentiometers gebracht. Man sucht dann mit dem Bleistift im elektrolytischen Trog diejenigen Linienzüge auf, bei denen der Maschinenton im Telephon verschwindet, bzw. zu einem Minimum wird und zeichnet die so gefundenen Kurven auf die Grundplatte (Mattscheibe) des Trogs. Die Gesamtzahl aller Linienzüge ergibt dann ein Bild von der Potentialverteilung des vorliegenden Elektrodensystems.

Potentialgebirge. Zur weiteren Veranschaulichung kann man aus diesen Messungen sog. Potentialgebirge aufbauen. Stellt man sich die Potentialwerte der einzelnen Linien als entsprechende Höhenlinien vor, so kann man sich mit Hilfe formbarer Substanzen (Glaserkitt, Knetmasse u. dgl.) ein Gebirgsmodell herstellen.

Solche Modelle lassen sich dazu verwenden, die Flugbahn eines einzelnen Elektrons nachzuahmen, indem man Kugeln von der Kathode durch den Gitterbereich nach der Anode rollen läßt. Dieses Verfahren zeigt den Flugweg eines elektrisch geladenen Teilchens nur in grober Annäherung, weil bei den rollenden Kugeln wegen der Unterlagenreibung und der aufgenommenen Rotationsenergie Bahnabweichungen auftreten[1].

Das Formen von Gebirgsmodellen durch Übertragung der im beschriebenen Trogverfahren erhaltenen Meßwerte ist recht mühsam. Es gibt ein anderes Verfahren, um leichter zu einer gebirgsmäßigen Darstellung von Potentialfeldern zu gelangen. Hierbei stellt man die Potentiale, welche die Elektroden im Betriebszustand besitzen, durch entsprechend bemessene senkrecht aufgebaute Stäbe dar, welche in gleicher Weise wie die Querschnittsfigur der Elektroden des zu untersuchenden Röhrensystems angeordnet sind. Über die Stabenden wird nun ein nicht zu dünnes Gummituch gespannt, welches somit eine von Bergen und Tälern durchsetzte Fläche bildet. Die schematische Durchschnittszeichnung, Fig. 1, zeigt ein Ausführungsbeispiel eines solchen Gummimembran-Gestells. Auf dem die außenliegende Anode A darstellenden Kreisring ist das Gummituch M straff gespannt befestigt. Die ringförmig angeordneten Gitterstäbe G und der Kathodenstab K sind in das Grundbrett B vertikal verschiebbar eingesetzt und mit der Membran derart verbunden, daß diese gezogen oder gedrückt werden kann.

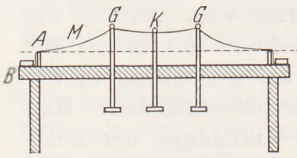


Fig. 1. Gummimembran-Gestell (Querschnitt). A Anodenring, B Grundbrett, G Gitterstäbe, K Kathodenstab, M Gummituch.

Soll nun eine den elektrischen Verhältnissen entsprechende Potentialfläche einer zylindrisch gebauten Eingitterröhre entstehen, so hat man die Stäbe so zu verschieben, daß die Abstände zwischen ihrer Spitze und der Nullage den statischen Spannungsdifferenzen zwischen Anode und Gitter, bzw. Anode-Kathode proportional sind. Aus konstruktiven Gründen ist hier also nicht, wie sonst üblich die Kathode, sondern die Anode zum Bezugs-Nullpunkt gewählt, was natürlich am Potentialbild nichts ändert.

Beispielsweise möge für den Röhrenbetrieb eine Gitterspannung $U_g = -10$ V und eine Anodenspannung $U_a = 140$ V (beide Spannungen gegen die Kathode gemessen) angenommen sein. Zur Herstellung einer Potentialfläche sind die entsprechenden Stäbe so zu verschieben, daß sich ihre über die Anodenringebene hinausragenden Längen wie 15 : 14 verhalten. In entsprechender Weise können alle anderen Spannungsverhältnisse durch einfache vertikale Verschiebung der Stäbe eingestellt werden.

Theoretische Begründung. Es bedarf noch einer näheren Begründung, weswegen man die Oberflächengestalt eines in der beschriebenen Weise über Stäbe freigespannten Gummituches als Abbild des elektrostatischen Potentialverlaufes zwischen entsprechend angeordneten Elektroden ansehen kann. Es soll hierbei von dem Satze Gebrauch gemacht werden, daß zwei Funktionen — bei gleichen Grenzbedingungen — dann identisch sind, wenn sie sich auf eine und dieselbe Differentialgleichung zurückführen lassen.

Die Differentialgleichung für den elektrostatischen Potentialverlauf im ladungsfreien Raum lautet nach POISSON-LAPLACE

$$\Delta U = 0. \qquad (U = \text{Spannung.})$$

Auf das hier zu behandelnde zweidimensionale Problem angewendet, lautet die Differentialgleichung:

$$\Delta U = \operatorname{div} \operatorname{grad} U = \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial y^2} = 0.$$

Die dem Potential U entsprechende Variable bei der Membranfläche ist der Abstand h von der Anodenringebene.

[1] Vgl. BRÜCHE und RECKNAGEL, Z. techn. Physik 4, 126; 1936 (Angabe über die Bedingungen der Ähnlichkeit der Bahnen).

Es ist also nachzuweisen, daß h in gleicher Weise in die Differentialgleichung eingeht wie U. Es seien zunächst für einen schmalen gekrümmten Streifen der Membran die wirksamen Kräfte festgestellt. Die gesamte Membran besitze in ihrer Nullage eine überall gleiche mechanische Zugspannung Z. Die beim Auslenken durch die Stäbe hineingebrachte Krümmung soll nur eine unmerkliche Änderung dieser Spannung hervorrufen, was dann der Fall ist, wenn die Vorspannung Z genügend groß gewählt wird. Die einzelnen Flächenelemente des betrachteten Streifens seien bindungselastisch, nicht aber biegungselastisch miteinander gekoppelt, eine Annahme, wie sie in der Theorie der Saitenschwingungen üblich ist.

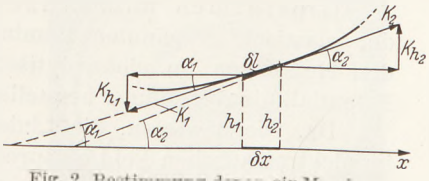


Fig. 2. Bestimmung der an ein Membranelement angreifenden Zugkräfte.

Bei einem gekrümmten Streifen ändert sich dann nur die Vertikalkomponente Z_h, nicht dagegen Z selber, wenn man von einem zum anderen Streifenelement übergeht.

In Fig. 2 sei ein Streifenelement von der Länge $\delta l \approx \delta x$ betrachtet. Die zu beiden Seiten angreifenden Zugkräfte K_1 und K_3 bilden mit der Horizontalen (x-Achse) die Winkel α_1 bzw. $\alpha_2 = \alpha_1 + \delta\alpha$. Denkt man sich die Zugkräfte in einem Punkt des Streifenelementes angreifend, so erhält man in Richtung von h zwei Kraftkomponenten K_{h1} und K_{h2}, deren Resultierende

$$[\delta K_h]_x = K_{h1} - K_{h2} \tag{1}$$

ist. Man hat nun:

$$\left.\begin{aligned} K_{h2} &= Z a \delta y \operatorname{tg}\alpha_1, \\ K_{h2} &= Z a \delta y \operatorname{tg}\alpha_2 = Z a \delta y \operatorname{tg}(\alpha_1 + \delta\alpha), \end{aligned}\right\} \tag{2}$$

wobei a die Dicke der Membran und δy die Streifenbreite bedeutet.

Es ist $\operatorname{tg}\alpha_1 = \dfrac{\partial h}{\partial x}$ und somit $\operatorname{tg}(\alpha_1 + \delta\alpha) = \dfrac{\partial h}{\partial x} + \dfrac{\partial^2 h}{\partial x^2}\delta x + \ldots$. Für sehr kleine Werte von $\delta\alpha$ bzw. δx wird die Resultierende (Gl. 1)

$$\left.\begin{aligned} [K_h]_x &= Z a \delta y \left(\frac{\partial h}{\partial x} + \frac{\partial^2 h}{\partial x^2}\delta x - \frac{\partial h}{\partial x}\right) \\ &= Z a \delta y \delta x \frac{\partial^2 h}{\partial x^2}. \end{aligned}\right\} \tag{3}$$

Dieser Anteil der Zugkraft tritt bei Betrachtung eines längs der x-Achse herausgenommenen Streifens auf. Da es sich bei der elastischen Membran im stationären Zustand um eine Fläche mit Doppelkrümmung handelt, muß auch noch die Krümmung eines Streifens längs der y-Achse hinzugenommen werden.

Auf ein kleines Flächenelement df (vgl. Fig. 3) wirken somit zwei Kraftanteile, die einander entgegengesetzt gleich sein müssen, da das Flächenelement keinen Bewegungsantrieb erfahren soll. Die entsprechende Komponente der Zugspannung für den Streifen in der y-Richtung ergibt sich nach gleichen Überlegungen wie oben zu

$$[\delta K_h]_y = Z a \delta y \delta x \frac{\partial^2 h}{\partial y^2}. \tag{3a}$$

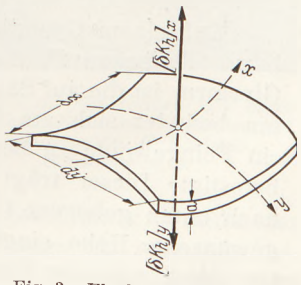


Fig. 3. Flächenelement mit Doppelkrümmung.

Die Komponentensumme ist

$$[\delta K_h]_x + [\delta K_h]_y = 0$$

und daher

$$Z a \delta x \delta y \left(\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2}\right) = 0.$$

Da nun $Z a \delta x \delta y$ einen von Null verschiedenen Wert besitzt, erhält man als Differentialgleichung für den Höhenverlauf der freitragenden Membran

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} = 0 \tag{4}$$

in Übereinstimmung mit der Differentialgleichung für den Potentialverlauf. Die Grenzbedingungen für beide Gleichungen sind durch die Versuchsbedingungen gleichartig festgelegt, denn dort, wo sich in der Elektronenröhre die auf bestimmte Spannungswerte

aufgeladenen Elektroden befinden, stehen beim Membrangestell in gleicher Anordnung Stäbe, deren Längen den Spannungswerten der Röhre proportional sind. Die Gestalten von Membranoberfläche und elektrostatischer Potentialverteilung stimmen nach den obigen Ausführungen in der Tat überein.

Gipsformen und Einzeichnen von Höhenlinien. Durch das Verfahren der elastisch gespannten Membranen läßt sich — auf umgekehrtem Wege wie aus den Messungen im elektrolytischen Trog — aus dem Potentialgebirge ein Bild der Potentiallinienverteilung herstellen.

Da, wie bewiesen, die Linienzüge gleicher Höhe den Kurven gleicher Spannung im elektrostatischen Feld entsprechen, so braucht man nur mit einer geeigneten Zeichenvorrichtung das Potentialgebirge zu umfahren und eine Reihe von geschlossenen Kurven aufzuzeichnen, die von einer Nullfläche aus einen vorgegebenen Abstand besitzen. Das Aufzeichnen dieser Höhenlinien auf das Gummituch selbst ist wegen der beabsichtigten mehrfachen Verwendung zur Darstellung von verschiedenen Spannungsverteilungen nicht zweckmäßig.

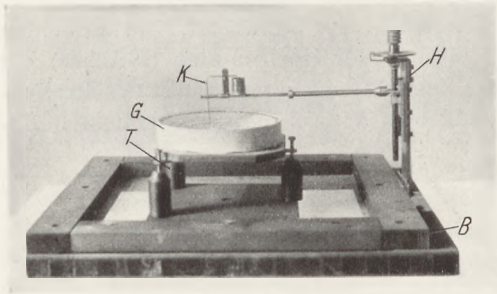


Fig. 4. Apparat zur Aufzeichnung von Höhenlinien. *B* Grundbrett, *G* Gipsform, *H* Höheneinstellung, *K* Schreibkapillare, *T* verschiebbares Tischchen.

Hier hilft man sich in einfacher Weise durch Anfertigen von Gipsabdrücken. Man überschichtet das in die gewünschte Oberflächengestalt gebrachte Gummituch mit einem Gipsbrei, läßt diesen abbinden und hebt dann die feste Gipsform ab. Zum leichteren Ablösen der Gipsmasse empfiehlt sich das vorherige Auftragen einer dünnen Schicht Vaseline oder Talkum auf die Gummifläche. Die so erhaltenen Gipsformen stellen einen Negativ-Abdruck dar.

Für die Einzeichnung von Höhenlinien ist es selbstverständlich gleichgültig, ob ein Gebirge oder sein Negativ, ein Tal, vorliegt. Will man jedoch die Gipsform dazu benutzen, um Abrollversuche mit Kugeln anzustellen, so kann man das Gummituch von vornherein durch entsprechende Stabeinstellungen zu einem Negativ umkehren, also z. B. die in Bezug auf die Anode negative Kathode zum tiefsten Punkt der Anordnung machen.

Für die Aufzeichnung von Höhenlinien ist eine Vorrichtung benutzt, wie sie in Fig. 4 abgebildet ist.

Auf einem Grundbrett *B* mit eingelegter Spiegelglasplatte steht ein verschiebbares Tischchen *T*, das die Gipsform *G* trägt. Zur waagerechten Einstellung der Gipsform ist die auf Säulen gelagerte Tischplatte mit drei Schrauben versehen. Weiterhin befindet sich am Grundbrett eine Höheneinstellung *H*. An dem lotrecht durch ein Feingewinde zu bewegenden Schlitten ist ein in seiner Länge verstellbarer Arm befestigt. Dieser trägt an einem Ende ein kleines Tintengefäß, in das eine dünne, nach unten gebogene Glaskapillare *K* taucht. Die Kapillarenspitze wird nun auf eine gewünschte Höhe eingestellt und die Gipsform an erstere herangeschoben und bei der Berührung der Gipsoberfläche ein Farbpunkt aufgezeichnet. Um ein Verlaufen des Farbstoffes zu unterbinden, muß die Gipsoberfläche vorher mit einer sehr dünnen Schicht Vaseline od. dgl. eingerieben sein.

Für eine bestimmte Höheneinstellung wird nun durch vertikales Verschieben des Tischchens nebst der Gipsform eine Punktreihe auf die Gipsoberfläche mit Hilfe der Schreibkapillare aufgetragen und dann durch Nachzeichnen mit einem Bleistift zu einem Linienzug vervollständigt. Durch Wiederholung dieses Verfahrens für verschiedene Höhenstellungen der Kapillare erhält man ein Kurvenfeld, das — auf die elektrischen Verhältnisse übertragen — die Potentialverteilung in einer Schnittebene durch das Elektrodensystem einer Röhre darstellt.

Dadurch, daß schrittweise die Höhenverhältnisse der Membranfläche geändert werden, gelangt man zu einer Reihe Potentialfeldbilder, mit denen sich die Wirkungen der verschiedenen Anoden- und Gitterspannungen auf die Elektronenquelle, die Kathode, veranschaulichen lassen.

Steuerspannung und Durchgriff. Maßgebend für den Verlauf des Anodenstromes ist die aus Gitter- und Anodenspannung resultierende Feldstärke an der Oberfläche der Kathode und in ihrer Umgebung.

Man kann sich diese Feldstärke folgendermaßen entstanden denken: An die Stelle des Gitters sei ein Metallblech gleicher Form, aber ohne Lücken gesetzt. Das Blech läßt sich dann auf ein Potential bringen, welches die gleiche mittlere Feldstärke an der Kathodenoberfläche erzeugt, wie dies vorher durch Zusammenwirken von Anoden- und Gitterpotential geschah. Dieses Potential wird mit „Steuerspannung" bezeichnet. Die Steuerspannung U_{st} ist bei den Eingitterröhren durch die Summe $U_g + DU_a$ gegeben, wobei der Faktor D „Durchgriff" genannt wird. Der Zahlenwert D gibt somit den Bruchteil der Anodenspannung an, welcher zu der Steuerwirkung der Gitterspannung hinzuzufügen ist. Der Durchgriff hängt lediglich von der geometrischen Anordnung der Elektroden ab, und zwar von ihren Abständen der Drahtstärke und der Maschenweite des Gitters. Es sei erwähnt, daß bei der Bestimmung des Durchgriffes aus der Kennlinienschar einer Eingitterröhre der Emissionsstrom i_e nur dann eine eindeutige Funktion der Feldstärke ist, wenn diese auf der gesamten Oberfläche des Glühdrahtes konstant ist. Man kann unter dieser Voraussetzung den Durchgriff statt durch

$$D = \left(\frac{\partial U_g}{\partial U_a}\right)_{\mathfrak{E}} = \text{const}$$

auch durch

$$D = \left(\frac{\partial U_g}{\partial U_a}\right)_{i_e} = \text{const}$$

festlegen.

Fig. 5a, b, c. Gipsformen mit eingezeichneten Höhenlinien. *A* Anodenrand, *G* Gitterpunkte, *K* Kathode, *S* Sattelpunkte.

Dieser zweite Ausdruck stimmt aber mit dem ersten wertmäßig nicht mehr überein, wenn ein Teil der Kathode von den Kraftlinien, die von einem negativ vorgespannten Gitter ausgehen, überschattet wird (Inselbildung; siehe weiter unten). Man muß in diesem Fall auf die erste, umfassendere Definition zurückgreifen, wobei unter $\mathfrak{E}$ dann der Mittelwert der Feldstärke auf der Oberfläche des Glühdrahtes zu verstehen ist. Wenn im besonderen keine Gitterströme fließen, kann man i_e gleich i_a setzen und den Durchgriff durch

$$D = \left(\frac{\partial U_g}{\partial U_a}\right)_{i_a} = \text{const}$$

ausdrücken. Diese Festlegung wird aber beim Auftreten von Gitterströmen hinfällig, weil die Kennlinien dann eine veränderliche Neigung annehmen, so daß D, links und rechts von diesem Punkt gerechnet, verschiedene Werte besitzt.

Die Fig. 5a, b, c, zeigen einige nach dem beschriebenen Verfahren ausgeführte Negativ-Gipsabdrücke mit eingezeichneten Höhenlinien.

Die Gipsform Fig. 5a entspricht im elektrischen Sinn einer Röhre mit negativ vorgespanntem Gitter. Die von der Kathode K ausgesandten Elektronen können den Potentialwall in der Umgebung des Gitters nicht überschreiten, selbst nicht an der Stelle des Sattelpunktes S (Verzweigungspunkt der Potentiallinien), der als relativ niedrigster Punkt noch höher als die Kathode liegt. Der Emissionsstrom unterliegt somit der Sperrwirkung des Gitters und fließt nicht. In Fig. 5b ist der Fall gezeigt, bei dem das Gitter nur noch sehr wenig negativ gegen die Kathode vorgespannt ist. Wegen der geringen Höhenunterschiede in der Umgebung der Kathode ist es schwer möglich, die Linienzüge an diese heranzuzeichnen. In Wirklichkeit würden sich einige der zwischen den Gitterstäben hindurchwindenden Potentiallinien bis nach der Kathode hin erstrecken und so einen Teil der Emission den Weg nach der Kathode freigeben. Diejenigen Teile des Glühdrahtes, die ihre Elektronen bis nach der Anode hinsenden können, bezeichnet man oft als „Emissionsinseln".

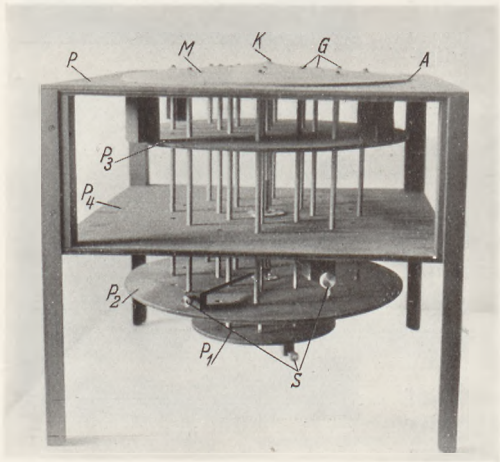


Fig. 6. Gummimembran-Gestell für Doppelgitterröhren. A Anodenring, G Gitterstäbe, K Kathodenstab, M Gummituch, P obere Grundplatte, P_1, P_2 verschiebbare Platten, verbunden mit den Gitterstäben, P_3, P_4 feste Grundplatten zur Führung der Gitterstäbe, S Schrauben zum Festklemmen von Kathodenstab und Gitterplatten.

Das dritte Bild (Fig. 5c) gibt den Potentialverlauf wieder, wenn die Kathode stärkster negativer Punkt der Anordnung ist. Alle vom Glühdraht ausgehenden Elektronen können nach der Anode gelangen. Die Sattelpunkte S sind stärker positiv als die Kathode und üben keinen sperrenden Einfluß aus. Es fließt der „Sättigungsstrom". Bei weiterer Erhöhung der positiven Vorspannung des Gitters würde ein Teil des Emissionsstromes auf die Gitterstäbe gelangen und den im Röhrenbetrieb oft unerwünschten Gitterstrom erzeugen.

Zeichnet man die orthogonalen Trajektorien zu den Höhenlinien auf die Oberfläche der Gipsform, so entsteht das Bild der elektrischen Kraftlinien. Dieses ist dann ein gutes Hilfsmittel, wenn man die Durchgriffsverhältnisse einer Röhre — also das Zusammenwirken der von der Anode und dem Gitter ausgehenden Kraftlinien — veranschaulichen will.

Anwendungsbeispiel auf Doppelgitterröhren. Die Darstellung von Potentialfeldern mit Hilfe der freigespannten elastischen Membranen läßt sich in ähnlicher Weise wie bei den Eingitterröhren auch auf Mehrgitterröhren erstrecken.

Der größere Zeitaufwand für die Anfertigung eines hierfür benötigten Gummituchgestelles wird ausgeglichen durch die Möglichkeit, sich bei Vorlesungen und Unterricht schnell ein Überblicksbild über das Zusammenspiel der an die Elektroden einer Röhre gelegten elektrischen Spannungen verschaffen zu können.

Für den besonderen Fall einer Doppelgitterröhre sei im folgenden ein Beispiel der vielen möglichen Ausführungsformen eines Membrangestelles angegeben.

Wie aus Fig. 6 ersichtlich, ist über den Kreisflächenausschnitt der oberen Grundplatte P ein Gummituch M ausgespannt. Die die Kathode und die beiden Gitter darstellenden Stäbe sind mit kleinen Schrauben fest mit dem Gummituch verbunden. Der Kathodenstab K befindet sich im Mittelpunkt der Kreisfläche. Die beiden Gitter werden durch je acht auf zwei konzentrischen Kreisen angeordnete Stäbe dargestellt. Der äußere Rand der Membran ist auch hier wieder die als Bezugs-Nullpunkt gewählte Anode A. Die inneren und äußeren Gitterstäbe sind mit den Platten P_1 bzw. P_2 fest verbunden. Diese Platten sind in gleicher Weise wie der Kathodenstab

vertikal und unabhängig voneinander verschiebbar, wobei die Führung der Stäbe durch die beiden am Gestell befestigten Platten P_3 und P_4 bewirkt wird. Die Schrauben S dienen zum Festklemmen der Gitterstabplatten und des Kathodenstabes nach erfolgter Höheneinstellung. Die Stäbe können je nach Erfordernis mit ihrer Spitze oberhalb oder unterhalb der Anodenringebene eingestellt werden.

Aus der Oberflächengestalt der Membran läßt sich der Potentialverlauf schon meistens unmittelbar übersehen. Soll ein genaueres Potentialbild entworfen werden, so muß man einen Gipsabdruck der Membran anfertigen. Hierzu umgibt man den Anodenrand kragenartig mit einem Pappestreifen und gießt zunächst eine dünne Gipsbreischicht auf das Gummituch, damit dieses nicht deformiert wird. Nach dem Abbinden der dünnen Schicht gießt man noch eine größere Menge Gips darüber und löst dann nach dem Festwerden die ganze Form von der Membran ab.

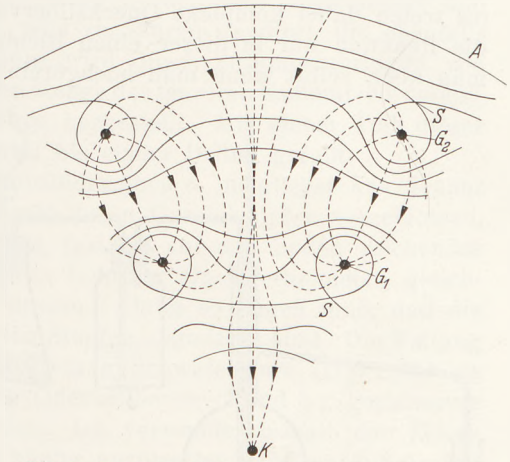


Fig. 7. Feldlinienbild einer Doppelgitterröhre in Schutzgitterschaltung. A Anode, G_1 Steuergitter, G_2 Schutzgitter, K Kathode, S Sattelpunkte.

Als Anwendungsbeispiel sei das von der Membran übertragene Feldlinienbild einer in Schutznetzschaltung verwendeten Doppelgitterröhre aufgeführt. Das Schutznetz hat den Zweck, möglichst viele der sonst von der Anode ausgehenden Kraftlinien auf sich zu vereinigen, so daß sich die im Röhrenbetrieb auftretenden Spannungsschwankungen an der Anode nur in geringem Maß im Raume zwischen Schutzgitter und Steuergitter bemerkbar machen. Das Schutzgitter stellt also eine Hilfsanode mit annähernd gleichbleibender Spannung dar, wodurch erreicht wird, daß die Röhre auf einer Arbeitskennlinie größerer Steilheit arbeitet, was eine Erhöhung des Verstärkungsgrades bedeutet.

Fig. 7 zeigt einen Ausschnitt aus dem Potential- und Kraftlinienfeld einer solchen Schaltung. Hierbei ist die Anordnung der Gitter so gewählt, daß die Stäbe des Schutznetzes G_2 in radialer Richtung hinter denen des Steuergitters G_1 stehen. Die Schutzgitterspannung beträgt hier etwa 80% der Anodenspannung.

Aus dem Feldlinienbild ersieht man, daß der Durchgriff der elektrischen Kraftlinien von der Anode nicht erheblich ist, während sich die größte Kraftliniendichte zwischen den Stäben des Schutz- und Steuergitters ausbildet. Es kommt die durch den im Betrieb veränderlichen Anodenstrom hervorgerufene Potentialschwankung der Anode kaum zur Geltung.

Das Verfahren läßt auch für andere Fälle in ähnlicher Weise die grundsätzlichen elektrischen Eigenschaften der Mehrgitterröhren erkennen.

Institut für angewandte Physik der Hansischen Universität.

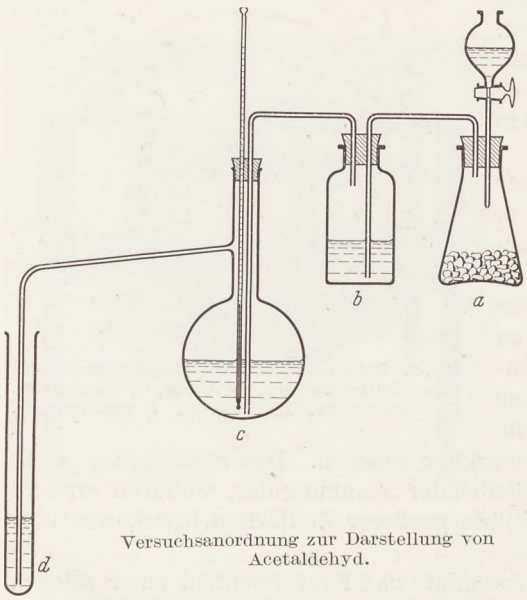
Über die Herstellung von Acetaldehyd und Essigsäure aus Acetylen.

Von **R. Scharf** in Berlin.

Acetaldehyd und Essigsäure sind außerordentlich wichtige Zwischenprodukte für die chemische Industrie. Eine große Reihe Arzneimittel, ferner Lösungs- und Weichmachungsmittel und Kunststoffe (u. a. gewisse Arten synthetischen Kautschuks) hängen mittelbar oder unmittelbar mit dem Acetaldehyd und der Essigsäure zusammen. Gerade in der heutigen Zeit, wo wir mehr denn je auf heimische Rohstoffe angewiesen sind,

beanspruchen diese Stoffe und ihre Herstellungsverfahren auch im chemischen Unterricht der höheren Schulen gesteigerte Beachtung.

Die Technik arbeitet bei der Herstellung von Acetaldehyd aus Acetylen in der Weise, daß Acetylen in eine schwefelsaure Quecksilbersulfatlösung bestimmter Konzentration und bestimmter Temperatur eingeleitet wird, wobei sich Acetaldehyd durch Anlagerung von Wasser an das Acetylen bildet: $C_2H_2 + H_2O \rightarrow CH_3 \cdot CHO$. Das Quecksilbersulfat und die überschüssige Schwefelsäure wirken also nur als Katalysatoren (es treten dabei komplexe Quecksilberverbindungen als Zwischenprodukte auf), wenn die Reaktion nur in dieser einen Richtung verlaufen würde. Tatsächlich beobachtet man aber, selbst wenn man hochgereinigtes Acetylen anwendet, stets eine Reduktion des Quecksilbersulfats zu metallischem Quecksilber, was dafür zu sprechen scheint, daß neben der Hauptreaktion noch Nebenreaktionen verlaufen, die nicht ohne weiteres umkehrbar sind. Das metallische Quecksilber macht sich als graue Trübung der Reaktionsflüssigkeit bemerkbar. Um den Prozeß nicht zu früh unterbrechen zu müssen und um das teure Quecksilbersulfat möglichst auszunutzen, dessen allzu häufige Aufarbeitung zu Verlusten führen würde, setzt man der Reaktionsflüssigkeit noch ein schwach wirkendes Oxydationsmittel hinzu, z. B. ein Eisen(3)-Salz (Ferrisalz). Auf diese Weise verhindert man eine frühzeitige Reduktion des Quecksilbersulfats.



Versuchsanordnung zur Darstellung von Acetaldehyd.

Der gebildete Acetaldehyd wird entweder nach beendeter Reaktion oder während ihrer Dauer abdestilliert und als Flüssigkeit oder wäßrige Lösung abgeschieden. Durch Überleiten der Acetaldehyddämpfe im Gemisch mit Luft über Katalysatoren (z. B. Manganacetat) wird unter geeigneten Bedingungen der Acetaldehyd weiter zu Essigsäure oxydiert.

Im folgenden wird eine Versuchsanordnung beschrieben, die für Acetaldehyd diesen technischen Prozeß im Schulversuch nachzuahmen gestattet[1]. Die Überführung des Acetaldehyds in Essigsäure habe ich jedoch nach dem technischen Verfahren nicht durchführen können, sondern ich mußte Kaliumpermanganat als Oxydationsmittel anwenden.

Beschreibung der Versuchsanordnung:

1. Das Acetylen wird aus Calciumcarbid mit Wasser entwickelt. In einem 100-cm³-ERLENMEYER-Kolben *a* (siehe Figur) befindet sich das Calciumcarbid (etwa 50 g) in erbsengroßen Stücken. Der Kolben ist durch einen doppelt durchbohrten Gummistopfen verschlossen, dessen eine Bohrung einen kleinen, mit Wasser gefüllten Tropftrichter trägt; auch das Hahnrohr soll vorher vollkommen mit Wasser gefüllt werden, weil sonst der nötige Überdruck im Kolben nicht zu erreichen ist. Ein Auftropfen von Kaliumpermanganatlösung zwecks Oxydierung unerwünschter Verunreinigungen hatte keinen großen Einfluß auf die Reinheit des Gases, was auch verständlich erscheint, wenn man bedenkt, daß beim Auftropfen der wäßrigen Lösung sofort ein Teil des Wassers infolge der Reaktionswärme verdampft und an anderen Stellen als reines Wasser auf noch nicht verbrauchtes Karbid einwirken kann. Wollte man die Reinigung

[1] Siehe auch ARENDT-DOERMER: Technik der Experimentalchemie, 5. Aufl., S. 564 und HENNIGER-HEIDRICH-FRANCK: Lehrbuch der Chemie, Teil II, 18. Aufl., S. 241.

des Gases mit seiner Herstellung vereinigen, so müßte schon das Einwurfverfahren benutzt werden, was aber einerseits etwas umständlich ist, andererseits einen schlecht regelbaren Gasstrom ergibt; es müßte dann wieder unter Zwischenschaltung eines Gassammlers gearbeitet werden. Die zweite Bohrung des Gummistopfens trägt ein rechtwinklig gebogenes Gasableitungsrohr.

2. Die Reinigung des Gases geschieht in einer Waschflasche *b* mit Bichromat-Schwefelsäure. Als Verunreinigungen kommen hauptsächlich Ammoniak, Phosphorwasserstoff und Schwefelwasserstoff in Frage. Diese werden teils neutralisiert und als Salze in der Waschflasche zurückgehalten, teils zu Säuren oxydiert, die ebenfalls nicht flüchtig sind. Die Bichromat-Schwefelsäure wird durch Zusammenbringen von 100 g Natriumbichromat (oder der entsprechenden Menge des teureren Kaliumbichromats), 125 cm^3 Wasser und 75 cm^3 konz. Schwefelsäure hergestellt. Mit einem Teil dieser Lösung wird eine Waschflasche zu einem Viertel bis einem Drittel gefüllt.

3. Das Reaktionsgefäß ist ein 200-cm^3-Destillierkolben *c*, möglichst aus Jenaer Glas bestehend. Er ist mit einem doppelt durchbohrten Gummistopfen verschlossen, dessen eine Bohrung ein rechtwinklig gebogenes, fast bis auf den Boden reichendes Gaseinleitungsrohr trägt, während in der anderen Bohrung ein Thermometer, gleichfalls bis fast auf den Boden reichend, steckt, dessen Teilung so liegen muß, daß die Temperaturgrade von 90° bis 95° nicht durch den Stopfen abgedeckt sind. Die Füllung des Kolbens besteht aus 100 cm^3 einer 5- bis 6%igen Schwefelsäure (D = 1,034 bis 1,040), in der etwa 2 g Quecksilber(2)-sulfat oder Quecksilberoxyd und 5 g gepulverter Eisenammoniakalaun gelöst bzw. verteilt werden. Ich verwende deshalb den Eisenammoniakalaun, weil er ein im Laboratorium häufig anzutreffendes Eisen(3)-Salz ist; es dürfte nichts im Wege stehen, auch Eisen(3)-sulfat anzuwenden, falls man es gerade vorrätig haben sollte, was allerdings nicht anzunehmen ist, da es sich unter dem Einfluß von Wasser leicht zersetzt.

4. An das Ableitungsrohr des Destillierkolbens ist durch einen kurzen Gummischlauch ein (fast) rechtwinklig gebogenes Rohr angeschlossen, dessen langer Schenkel auf den Boden eines etwas weiteren Reagensglases *d* aufstößt, das mit 10 bis 20 cm^3 destilliertem Wasser gefüllt ist.

5. Der Aufbau der Apparatur muß so eingerichtet werden, daß die Verbindungsschläuche kurz gehalten werden, so daß möglichst Glas an Glas stößt. Die Höhe des Aufbaues muß darauf Rücksicht nehmen, daß der Reaktionskolben mit einer kleinen, durch einen Schornstein vor Zug geschützten leuchtenden Flamme eines Bunsenbrenners während der Reaktion erwärmt werden muß. Die Apparatur wird am besten unter einem Abzug aufgebaut, um den unveränderten Teil des Acetylens absaugen zu können. Kann man die Apparatur unter dem Abzug nicht allen Schülern sichtbar machen, so muß man an Stelle des Reagensglases eine kleine Waschflasche benutzen und das ausströmende Acetylen durch Verbrennen vernichten, nachdem vorher mehrmals die Knallgasprobe gemacht wurde; denn Acetylen hat im Gemisch mit Luft einen außerordentlich hohen Explosionsbereich, nämlich von 3 bis 70% Acetylen (Leuchtgas hat nur einen Explosionsbereich von 5 bis 28%).

Arbeitweise. Nachdem die Gefäße und Röhren in der angegebenen Weise hintereinandergeschaltet worden sind, wird der Destillierkolben auf 90° bis 95° erhitzt und auf dieser Temperatur gehalten; gleichzeitig wird mit dem Durchleiten des Acetylens begonnen. Der Gasstrom soll verhältnismäßig langsam fließen, eine Tropfgeschwindigkeit von 15 bis 20 Tropfen in der Minute hat sich als günstig erwiesen. Wird die Strömungsgeschwindigkeit des Gases sehr erhöht, so erniedrigt die große Menge des unveränderten Acetylens den Partialdruck des gebildeten Acetaldehyds in einem Maße, daß die Konzentration der Acetaldehydlösung im letzten Reagensglas zu gering wird. Der Inhalt des Destillierkolbens verändert beim Durchleiten des gereinigten Acetylens kaum seine Farbe. Läßt man etwa aus Bequemlichkeit die Waschflasche mit Bichromat-Schwefelsäure aus der Apparatur fort, so verändert das

unreine Acetylen bald die Farbe des Kolbeninhalts, er färbt sich dunkel; und dann ist die Erklärung der Reaktion durch einen katalytischen Vorgang unbedingt weniger glaubhaft.

Nach etwa halbstündigem Durchleiten des Acetylens löscht man die Flamme, unterbricht das Einleiten und nimmt die mit Wasser gefüllte Vorlage ab. Die Flüssigkeitsmenge ist durch überdestillierten Acetaldehyd und Wasserdampf gegen vorher vergrößert, in meinen Versuchen waren statt 20 cm³ etwa 25 cm³ wäßrige Aldehydlösung vorhanden. Die Lösung riecht deutlich nach Acetaldehyd, dieser Geruch wird allerdings von einem kaum wahrnehmbaren Geruch nach reinem Acetylen begleitet, das gleichfalls im Wasser gelöst ist. Will man dieses Acetylen entfernen, so genügt ein kurzes Aufkochen der wäßrigen Lösung, der dann verbleibende Geruch ist der des reinen, allerdings verdünnten Acetaldehyds.

Nachweis des gebildeten Acetaldehyds. Der Nachweis mit fuchsinschwefliger Säure geht ohne weiteres. Ich benutze dieses Reagens in der Schule aber nicht gern, weil es sonst an keiner anderen Stelle gebraucht wird. Ich ziehe die Erzeugung eines Silberspiegels aus ammoniakalischer Silbernitratlösung vor. Das Reagens, das ich für diesen Zweck anwende, ist ziemlich verdünnt, nämlich: 5 g kristallisiertes Silbernitrat gelöst in 500 cm³ destilliertem Wasser unter Zusatz von 5 cm³ Salmiakgeist der handelsüblichen Konzentration mit dem spezifischen Gewicht 0,910 (25%), oder entsprechende Teile davon; die Aufbewahrung geschieht in einer braunen Glasstöpselflasche. Es ist selbstverständlich, daß das Reagensglas, in dem der Spiegel erzeugt wird, vollkommen sauber ist (warme konz. Schwefelsäure zum Säubern!).

Auch zur Erzeugung des Silberspiegels muß das gelöste Acetylen aus der Acetaldehydlösung durch Aufkochen vertrieben werden, weil sich sonst beim Zusatz der ammoniakalischen Silbernitratlösung ein Niederschlag von Acetylensilber bildet, an den sich das durch Reduktion entstandene Silber zuerst ansetzt; der Erfolg ist dann nur eine graue bis schwarze Fällung von Silber. Vor dem Zusetzen der aufgekochten Aldehydlösung zum Silberreagens wird sie erst wieder abgekühlt, um eine zu plötzliche Ausscheidung des Silbers zu verhindern. Wird sie nach dem Zusammengießen wieder vorsichtig erwärmt, so bildet sich, wenn das Glas sauber war, ein schöner Silberspiegel an der Wandung des Glases aus.

Bildung von Essigsäure. Wie ich schon oben ausführte, ist mir die Überführung des gebildeten Acetaldehyds in Essigsäure nach dem katalytischen Verfahren der Technik noch nicht gelungen. Der wesentlichste Teil dieses Verfahrens dürfte aber die Synthese des Acetaldehyds aus Acetylen und Wasser sein, so daß diese kleine Abweichung vom technischen Verfahren wohl in Kauf genommen werden kann. Man setzt also zu der wäßrigen Acetaldehydlösung, die hier besser nicht aufgekocht wird, um Acetaldehydverluste zu vermeiden, einige Kristalle Kaliumpermanganat hinzu und erhitzt diese Lösung, bis ein schwacher, aber deutlicher Geruch nach Essigsäure auftritt. Es muß so viel Kaliumpermanganat hinzugesetzt worden sein, daß die Lösung nach dem Aufkochen noch violett gefärbt ist. Diese Bildung von Essigsäure ist gleichzeitig der beste Nachweis für den gebildeten Acetaldehyd.

Bestimmung der Menge des gebildeten Acetaldehyds. Wenn man, um den Verlauf des Versuches zu kontrollieren, die Menge des gebildeten Acetaldehyds bestimmen will, so benutzt man dazu am besten die Oximbildung mit Hydroxylaminchlorhydrat. Bei der Reaktion $CH_3 \cdot CHO + NH_2OH \cdot HCl = CH_3 \cdot CH : NOH + H_2O + HCl$ wird für jedes Molekül Acetaldehyd ein Molekül Chlorwasserstoff abgespalten, der leicht mit $^n/_{10}$-Lauge oder Soda gegen Methylorange als Indikator zu titrieren ist. Sowohl die Aldehyd- wie die Hydroxylaminchlorhydratlösung müssen vor dem Zusammengießen gegen Methylorange neutral reagieren, was durch Zugeben einiger Tropfen $^n/_{10}$-Salzsäure (zur Aldehydlösung) bzw. $^n/_{10}$-Soda (zur Hydroxylaminchlorhydratlösung) leicht zu erreichen ist. Die Menge des zur Verwendung kommenden

Hydroxylaminchlorhydrats muß mindestens das 1,6fache des vorhandenen Acetaldehyds betragen, tatsächlich wird man natürlich einen unbekannten Überschuß anwenden, der nur nicht zu groß werden darf, um nicht die Umschlagschärfe zu verwischen. Im allgemeinen kommt man bei den angegebenen Versuchszahlen mit 0,5 g des Salzes aus, wenn man die Hälfte der gebildeten Aldehydlösung titrieren will. Der Gang der Analyse ist demnach folgender:

Die gebildete Aldehydlösung wird in einem Meßglas abgemessen, mit der Pipette werden 5 oder 10 cm³ der Flüssigkeit herausgenommen und in einem 100-cm³-Weithals-ERLENMEYER-Kolben mit etwa 20 cm³ destilliertem Wasser verdünnt. Nach Zusatz eines kleinen Tropfens Methylorangelösung wird mit wenig $^n/_{10}$-Salzsäure neutralisiert. In einem zweiten gleichen Kolben werden 0,5 g Hydroxylaminchlorhydrat in 20 bis 30 cm³ destilliertem Wasser aufgelöst und nach schwacher Anfärbung durch Methylorangelösung mit $^n/_{10}$-Soda bis zur neutralen Reaktion versetzt. Die beiden Flüssigkeiten werden jetzt bei Zimmertemperatur zusammengegossen, wobei sofort eine kräftige Rotfärbung der Flüssigkeit durch die abgespaltene Salzsäure eintritt. Die Lösung kann sofort mit $^n/_{10}$-Soda bis zur neutralen Reaktion titriert werden. Die Anzahl der verbrauchten Kubikzentimeter $^n/_{10}$-Sodalösung wird zweckmäßig dann auf die gesamte gebildete Aldehydlösung umgerechnet. 1 Liter verbrauchter $^n/_{10}$-Sodalösung entsprechen 4,4 g Acetaldehyd. Bei meinen Versuchen bestimmte ich auf diese Weise Ausbeuten von 0,3 bis 0,5 g Acetaldehyd, die erhaltenen Lösungen waren 1- bis 2½%ig, je nach der vorgelegten Wassermenge.

Ich möchte ausdrücklich betonen, daß ich diese Bestimmung der Aldehydausbeute nicht als Teil des Unterrichtsversuches betrachte, sondern sie lediglich zu dem Zweck beschrieben habe, damit der Lehrer bei der Vorbereitung des Versuches die Möglichkeit hat, sich über die gebildeten Aldehydmengen und damit über das mehr oder minder vollkommene Arbeiten seiner Apparatur ein Bild zu machen.

Für die Praxis.

Modelle von technischen Lichtschaltern. Von **S. Janß** in Wandsbeck. Die Stromwege bei den verschiedenen Lichtschaltern erläutert R. DAUTZENBERG [diese Zeitschr. **40**, 123 (1927)] durch Hebelschalter. Statt dessen kann man auch Modelle von technischen Drehschaltern verwenden und hat dann den Vorteil, daß neben den allgemeinen Stromwegen auch noch die Schalter dem Verständnis näher gebracht werden. Ein Brett mit einem Wechselschaltermodell ist in Fig. 1 dargestellt. Der nicht bewegliche Teil besteht aus vier rechtwinklig gebogenen Blechen 1 bis 4 (Messingstreifen von alten Taschenlampenbatterien genügen). Mit den auf dem Brett durch zwei Nägel befestigten Schenkeln verlötet man die Drähte in der gezeichneten Art. Der drehbare Teil des Schalters ist ein in der Mitte durchbohrtes kreisförmiges Brett *B* mit einem Streifen aus federndem Messing; die Enden sind rechtwinklig umgebogen; bei den geeigneten Stellungen drücken die Federn gegen die festen Kontakte (in der Figur ist ein Zwischenraum gelassen). Die Scheiben werden durch Schrauben mit runden Köpfen, also unten flach, mit dem Grundbrett verbunden; die Durchbohrung für die Scheibe wählt man ein wenig größer als den Schraubendurchmesser, diejenige im Grundbrett etwas kleiner, damit sich die Schraube fest eindrehen läßt. Die Metallfedern nimmt man recht lang überstehend, damit die Berührung mit den Kontakten gute Verbindung ergibt und bei Unterbrechung die Funken schnell abreißen. Gedreht wird durch Anfassen der Scheibe am Rand. — Der Serienschalter

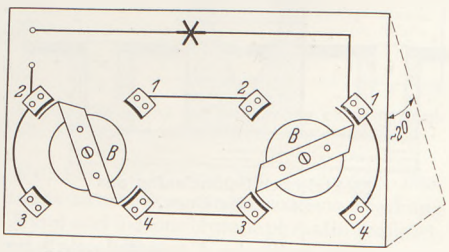


Fig. 1. Modell von Wechselschaltern.

ist nach Fig. 2 anzufertigen; vorteilhaft verbindet man die beiden Seitenkontakte mit den Leuchtkörpern. Für den Unterricht mit Vorweisungen kann man durch dreieckige Brettchen, wie in Fig. 1 angedeutet, das Grundbrett bis auf etwa 20° hoch richten.

Die Unterschiede der Schalter sind die folgenden. Der einfache Schalter hat zwei feste Kontakte zur Stromzuführung und Ableitung; der drehbare Teil hat zwei Kontakte in 180° Abstand. Der Serienschalter hat drei feste Kontakte und drei bewegliche, beidemal in je 90° Abstand. Die Wechselschalter haben vier feste Kontakte, von denen zwei untereinander verbunden sind, zwischen beiden Schaltern zwei Drähte, ferner zwei drehbare Kontakte mit 180° Abstand. — Nach dieser Feststellung wird der Schüler an Hand der Modelle leicht die Art eines vorgelegten technischen Schalters bei Betrachtung von unten oder nach Entfernung der Umhüllung erkennen können. (Serienkippschalter haben in jedem Stromweg einen Schalter.)

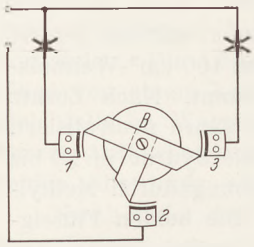
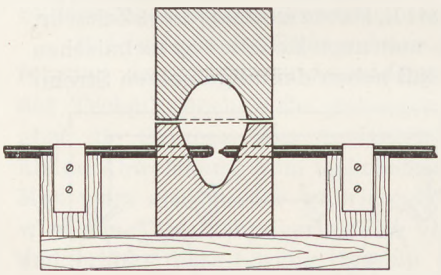


Fig. 2. Modell eines Serienschalters.

Die Versuche gelingen sicher mit einem Sammler oder einem geeigneten Transformator und Taschenlampenbirnen. Ob man Netzspannung mit großen Birnen verwenden kann, hängt von dem „Abreißen“ zwischen Kontakt und Feder ab; es darf sich kein wesentlicher Lichtbogen bilden. Kleinbirnen mit Netzspannung unter Benutzung eines Vorschaltwiderstandes zu verwenden, ist nur beim einfachen und Wechselschalter möglich. Stellt man dagegen beim Serienschalter den Vorschaltwiderstand ein, wenn nur eine Birne glüht, dann brennen nach Drehen des Schalters beide Birnen schlecht oder gar unmerklich; stellt man aber den Widerstand ein, wenn beide normal brennen, dann brennt eine Birne durch, sobald die andere durch Drehung ausgeschaltet wird.

Herstellung einfacher elektrischer Glühöfen aus Diatomitsteinen. Von Dr. **W. Albach** in Michelstadt. Die von Rheinboldt[1] mehrfach beschriebenen Glühöfen aus Diatomitstein, die man sich mit wenig Mühe in jeder beliebigen Form selbst herstellen kann, haben sich bei mir im Schulgebrauch so glänzend bewährt, daß ich sie erneut empfehlen möchte und einige Verbesserungen mitteilen will, die den Gebrauch vereinfachen und die Lebensdauer wesentlich erhöhen.


Elektrischer Schmelzofen aus Diatomitsteinen.

Ich habe mir aus 2 mm starkem Bandeisen von 2 cm Breite für jeden Ofen in der Größe der Steine einen Rahmen hergestellt, an ihm 3 oder 4 Beine aus demselben Bandeisen angebracht (alles vernietet) und den unteren Stein in den Rahmen gedrückt. Faßt man auch den oberen Stein in einen solchen Rahmen, so ist die Lebensdauer der Öfen unbegrenzt, und man hat Dreifuß und Stativ für andere Zwecke zur Verfügung.

Der mißliche Umstand, daß bei der gebräuchlichen Darstellung von Kalziumkarbid im Graphittiegel der Kontakt bei manchen Tiegeln oft äußerst mangelhaft ist und wegen der großen Wärmeableitung und -ausstrahlung nur große Stromstärken zum Ziele führen, hat mich veranlaßt, einfache Schmelzöfen aus Diatomitsteinen[2] herzustellen. Diese haben sich z. B. bei der Darstellung von Karbid, von gebranntem Kalk und elementarem Phosphor u. a. so gut bewährt, daß sich eine Beschreibung ihrer einfachen Herstellung hier lohnen dürfte. Die Diatomitsteine werden in gleich große Stücke zersägt (nicht

[1] H. Rheinboldt, Chemische Unterrichtsversuche, Dresden und Leipzig 1934; S. 74. Vgl. auch diese Zeitschrift **46**, 98 (1933).

[2] Die Firma Grünzweig & Hartmann in Ludwigshafen a. Rhein fertigt Steine aus Kieselgur unter der Bezeichnung „Diatomitsteine“ an.

unter $5 \times 5 \times 8$ cm), und ein Stück wird, wie die Figur zeigt, auf ein Brett gelegt, so daß es sich zwischen 2 aufgeschraubten Holzklötzchen befindet. Die Klötzchen tragen in einer Rille je eine Bogenlichtkohle. In Höhe dieser Kohlen durchbohrt man mit einem Nagelbohrer den Stein und steckt die Kohlen durch die Bohrung. Von oben wird dann der Reaktionsraum in Form eines Kraters eingeschnitten. Als Deckel verwendet man einen zweiten Stein, den man über dem Krater etwas aushöhlt. Durch die vom Bogenlicht ausgestrahlte große Hitze erweitert sich der Krater allerdings sehr rasch. Man nimmt dann beim nächsten Versuch einen neuen Stein, den man sich innerhalb einer halben Minute wieder zurichtet, oder man „mauert" den Krater mit Schamottemehlbrei (Schamottemehl[1] und Wasser) aus. Das macht den Stein sogar dauerhafter.

Selbstverständlich kann man sich die Öfen in beliebiger Form und Größe herstellen, z. B. auch so, daß in den Krater ein Porzellan- oder Quarztiegel eingehängt werden kann. Dann ist aber auf einen größeren Abstand des Lichtbogens vom Tiegelboden zu achten, damit dieser nicht abschmilzt.

Ich betreibe die Lichtbogen mit 2 bis 3 Amp Wechselstrom. Die Kohlen von 5 mm Stärke werden durch einseitig angeschraubte Blechstreifen in den Rillen gehalten. Als Zuleitungsklemmen verwende ich Wäscheklammern, deren Innenseite mit Schablonenblech ausgekleidet wird, an dem der Zuleitungsdraht festgelötet ist. Sie ermöglichen guten Kontakt und gefahrloses Verschieben der Kohlen unter Strom.

[1] Schamottesteine oder Schamottemehl sind in Ofen- oder Eisenhandlungen zu erhalten.

Berichte.

1. Apparate und Versuche.

Vereinfachung des Fresnelschen Interferenzversuches durch Verwendung eines Umkehr-(90°-) Prismas. Von TH. HÜGI in Bern.

Zur Vorführung des FRESNELschen Interferenzversuches kann man sich des Doppelspiegels oder des Biprismas bedienen. Die etwas heikle Justierung der Spiegel wird im zweiten Falle vermieden. Jedoch steht ein Biprisma von genügend stumpfem Winkel meist nicht zur Verfügung. Herr Prof. GREINACHER stellte mir die Aufgabe, das FRESNELsche Biprisma durch ein gewöhnliches rechtwinklig-gleichschenkliges Prisma zu ersetzen und zu versuchen, die beim Biprisma vorhandene, für die Interferenzerscheinung erforderliche geringe Brechung durch Einbetten des Prismas in eine Flüssigkeit von beinahe gleichem Brechungsindex zu erreichen. Schon WINKELMANN[1] gibt an, daß es möglich sei, ein Biprisma zu verwenden, dessen Winkel um mehrere Grade von 180° abweicht, sofern es in eine Flüssigkeit wie Benzol eingebettet wird. Wie im folgenden gezeigt werden soll, gelingt es leicht, mit irgendeinem der gebräuchlichen 90°-Prismen die FRESNELschen Interferenzen zu erhalten.

[1] Handbuch der Physik, herausgeg. von A. WINKELMANN, Bd. 6, S. 924. Leipzig 1906 und A. WINKELMANN: Z. Instrumentenkde **1902**, 275. Ferner ist in der vorliegenden Zeitschrift zu vergleichen: H. HAGA · Z. physik. chem. Unterr. **17**, 289; (1904) Anm. — E. MAEY: Z. physik. chem. Unterr. **20**, 239; (1907). — H. THÖRNER: Z. physik. chem. Unterr. **35**, 130; (1922) Anm.

Die einfache Anordnung ist in Fig. 1 angegeben. Das Glasprisma (Kantenlänge: 2 cm) befindet sich in einem viereckigen Glastrog (G) mit Spiegelglasscheiben. In kleinem Abstand davor steht der von dem Bogenlämpchen (L) beleuchtete Spalt (Sp). In größerer Enfernung ist der Auffangschirm bzw. die Mattglasscheibe (S) aufgestellt. Um eine Flüssigkeit von passendem Brechungsindex zu erhalten, erwies sich eine Mischung von m-Xylol und α-Monobromnaphthalin geeignet. Es beträgt nämlich:

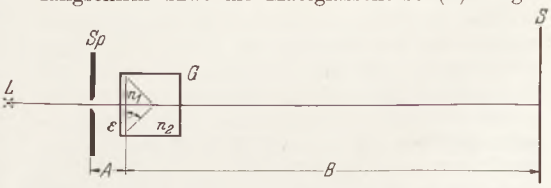


Fig. 1. Versuchsanordnung bei Benutzung eines in eine geeignete Flüssigkeit eingebetteten 90°-Prismas.

für m-Xylol . . . . . $n_D = 1{,}49677$ bei 18° C;
für α-Monobromnaphthalin $n_D = 1{,}65820$ bei 18° C;
für das Prisma ergab sich
durch Messung . . $n_D = 1{,}5164$ bei 20° C.

Es läßt sich daher leicht durch allmähliches Zugeben von α-Monobromnaphthalin zu m-Xylol eine Mischung herstellen, die einen etwas unter dem des Prismas liegenden Brechungsindex besitzt. Die Annäherung von n_2 an n_1 kann sehr gut im Interferenzbilde verfolgt werden. Zuerst erscheinen zahlreiche schmale Streifen. Diese nehmen dann an Zahl ab, an Breite aber zu. Das Ergebnis der Beobachtung sei kurz wiedergegeben.

Gewichtsprozente α-Monobrom-naphthalin	Aussehen
8,2 bis 11,2%	Interferenzstreifen sehr nahe, mit Rotfilter gerade noch sichtbar.
12,2 bis 14,2%	12 Streifen, auch ohne Filter gut sichtbar.
15,2 bis 16,2%	Streifen weit auseinanderliegend, unscharf.

Als günstigstes Mischungsverhältnis ergab sich eine 12- bis 14prozentige (Gewichtsprozente) Lösung von α-Monobromnaphthalin in m-Xylol. Da m-Xylol leicht verdunstet, ist es zweckmäßig, den Glastrog etwa mit einer Glasscheibe zuzudecken. Am besten wählt man die Entfernung A klein (nicht über 3,5 cm). B kann weniger oder mehr als 1 m betragen. Ob die Hypotenuse des Prismas oder sein brechender Winkel den Strahlen entgegengestellt wird, hat auf die Güte der Vorweisung keinen Einfluß.

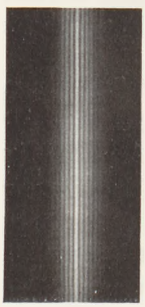


Fig. 2. Photographische Aufnahme der Interferenzstreifen.

In Fig. 2 ist noch eine photographische Aufnahme der Interferenzstreifen wiedergegeben. Die Versuchsbedingungen waren folgende: $A = 2{,}5$ cm, $B = 67{,}5$ cm. Spaltweite < 1 mm. Exposition (ohne Lichtfilter) 1 sec. Die verwendete Lösung war 13,2prozentig. Für den Brechungsindex wurde gefunden $n_D = 1{,}5021$ bei 26,5° C (Dichte bei 18° C $d = 0{,}9105$ [g · cm^{-3}]). Als mittlere Streifenbreite ergibt sich knapp 0,7 mm. Nach WINKELMANN läßt sich die Streifenbreite für ein stumpfwinkliges Prisma auch berechnen nach der Formel:

$$x = \frac{\lambda (A + B)}{2 (n_1 - n_2) \varepsilon \cdot A}.$$

Dieser Ausdruck wird allerdings für ein gewöhnliches Prisma nicht mehr genau gelten, doch dürfte er immerhin die Größenordnung der Streifenbreite richtig wiedergeben. Man erhält in der Tat hierfür $x = 0{,}73$ mm; dieser Wert weicht von dem experimentell bestimmten nicht allzu weit ab.

Es wurde noch geprüft, ob auch die Einbettung des Glasprismas in m-Xylol, sowie in Benzol allein, zu Interferenzen führt. Es zeigte sich, daß bei etwa 20° C zahlreiche, ganz feine Interferenzlinien vorhanden waren, die zwar nur unter der Lupe gut beobachtbar, aber für Demonstrationszwecke unbrauchbar waren.

Zum Schluß möchte ich Herrn Prof. Dr. H. GREINACHER für die Anregung zu diesen Versuchen meinen aufrichtigen Dank aussprechen.

Physikalisches Institut der Universität Bern.

4. Unterricht und Methode.

Versuche zur elektrischen Resonanz mit hochfrequenten und niederfrequenten Wechselströmen[1]. Originalbericht von Dr. WILHELM SPREEN in Brake i. O.

Das Heft über elektrische Resonanzerscheinungen, das FR. MOELLER im Vorwort zu seiner Abhandlung „Die Dreielektrodenröhre und ihre Anwendung" (Heft 15 der Abhandlungen zur Didaktik und Philosophie der Naturwissenschaft) angekündigt hat, ist jetzt als Heft 16 der gleichen Reihe erschienen. Der Zusammenhang der beiden Hefte, die im übrigen inhaltlich in sich abgeschlossen sind, ist dadurch gegeben, daß, abgesehen von dem Fall, in dem das Wechselstromnetz die Erregungsspannung liefert, die zur Einleitung der Resonanz erforderlichen magnetischen (oder auch elektrischen) Wechselfelder mit Hilfe kleiner Röhrengeneratoren erzeugt werden, deren Theorie in Heft 15 entwickelt ist.

Wenn die Theorie der elektrischen Resonanzerscheinungen auch für alle Frequenzen in der gleichen Weise gilt, so ist der Praktiker bei der Durchführung seiner Versuche und Messungen doch von den ihm zur Verfügung stehenden technischen Hilfsmitteln abhängig. Wegen der Gleichung $f = \frac{1}{2\pi\sqrt{L \cdot C}}$ (f = Frequenz, L = Selbstinduktionskoeffizient in Henry, C = Kapazität in Farad) gebraucht man zum Aufbau von Resonanzkreisen kleiner Frequenzen Spulen mit großen Selbstinduktionskoeffizienten und Kondensatoren großer Kapazitäten, und umgekehrt müssen bei hoher Frequenz Selbstinduktionskoeffizient und Kapazität entsprechend klein sein. Andererseits verlangt die Forderung der Abstimmbarkeit des Resonanzkreises, daß wenigstens eine der beiden Größen, von denen die Frequenz abhängig ist, in einem weiteren Bereiche stetig veränderlich sein muß. Nun stehen dem Experimentator stetig veränderliche Kapazitäten nur in den Drehkondensatoren in der Größe bis zu einigen Tausend pF (1 pF = 10^{-12} Farad) zur Verfügung, und eine stetige Veränderung des Selbstinduktionskoeffizienten läßt sich bei Spulen ohne Eisenkern in befriedigender Weise nur erreichen, wenn man zu der Variometeranordnung greift, bei der die gegenseitige Induktion zweier Spulen zur Änderung des Selbstinduktionskoeffizienten verwandt wird. Die zur Erzeugung kleiner Frequenzen erforderlichen großen Selbstinduktionskoeffizienten lassen sich,

[1] Nach FR. MOELLER: Versuche zur elektrischen Resonanz mit hochfrequenten und niederfrequenten Wechselströmen (Versuche mit kleinen Röhrengeneratoren) mit einer kurzen theoretischen Erläuterung zur elektrischen Resonanz. Abhandlungen zur Didaktik und Philosophie der Naturwissenschaft (Sonderhefte der Zeitschrift für den physikalischen und chemischen Unterricht, Heft 16. Mit 52 Textabbildungen und 14 Tabellen. VI und 82 Seiten. Berlin: Julius Springer 1937. Preis geh. RM 4,80).

wenn die Abmessungen erträglich bleiben sollen, nur mit Spulen erreichen, die einen Eisenkern besitzen, wodurch einerseits hohe Hysteresis- und Wirbelstromverluste bedingt sind und andererseits über die Permeabilität des Eisens Abhängigkeit des Selbstinduktionskoeffizienten von der Stromstärke eintritt. Ebenso führt bei den großen Kapazitäten die Verwendung von Papier als Zwischenmittel zu einer Erhöhung der dielektrischen Verluste. Aus solchen Überlegungen heraus erscheint es zweckmäßig, daß der Verfasser des vorliegenden Heftes seinen Stoff nach Frequenzen bzw. Frequenzbereichen aufgegliedert und so den besonderen Verhältnissen, die durch die Größen der Spulen, Kondensatoren und Widerstände und die Eigenschaften der Baustoffe gegeben sind, Rechnung getragen hat.

Im ersten Abschnitt, der als theoretische Einleitung des Heftes anzusehen ist, stellt der Verfasser in klarer, knapper Form die Theorie der elektrischen Resonanzerscheinungen heraus, wobei er den beiden Grundfällen, der Spannungs- und der Stromresonanz, je einen besonderen Abschnitt widmet. Die Gruppierung der Versuche nach Spannungs- und Stromresonanz durchzieht dann auch die weiteren vier Abschnitte, die den praktischen Teil enthalten: die Versuche und Messungen.

Zunächst (Abschnitt 2) behandelt FR. MOELLER, ausgehend von der Erwägung, daß Wechselstrom von der Frequenz 50 Hertz heute fast jeder Schule zur Verfügung steht, Resonanzversuche und -messungen am Wechselstromnetz. Als Kapazitäten kommen hier Becherkondensatoren von einigen μF ($1\ \mu F = 10^{-6}$ Farad) in Frage, als Induktivitäten Spulen mit Eisenkern. Die Abstimmung des Resonanzkreises auf die Frequenz des Netzstromes wird durch Verschiebung des verbindenden Querjochs der beiden Parallelstücke des hufeisenförmigen Kerns der Induktionsspulen bewirkt. Zur Messung der Strom- und Spannungsgrößen sind hier die in der Niederfrequenztechnik üblichen Weicheiseninstrumente gut brauchbar. Dann folgen im dritten Abschnitt Versuche und Messungen an den Resonanzkreisen von 30 bis 1000 Kilohertz, also an Kreisen, wie wir sie etwa vom Rundfunk her gewohnt sind. Hier wie auch in den folgenden Abschnitten ist zur Erzeugung der Betriebsspannung ein kleiner Röhrengenerator zweckmäßig, der eingehend beschrieben wird. Nur kleine, billige Röhren, die mit Anodenspannungen von 220 Volt betrieben werden können (Type AD 1, aber auch die entsprechenden älteren Typen der Firmen Telefunken und Valvo), werden für diese Schwingungserzeuger verwandt. (Über die Theorie des Röhrengenerators vgl. man FR. MOELLER, Die Dreielektrodenröhre und ihre Anwendung, S. 70f.) Die Abstimmittel in diesem Frequenzbereich sind wesentlich vollkommener als die im vorigen Abschnitt benutzten, da in den Drehkondensatoren stetig veränderliche Kapazitäten mit Luft als Dielektrikum zur Verfügung stehen und die Spulen weitgehend dämpfungsfrei gehalten werden können. Aber dafür treten nun andere Schwierigkeiten auf. Mit steigender Frequenz gelangen wir mehr und mehr in das Gebiet der nicht mehr quasi-stationären Strom- und Spannungsverhältnisse, bei den Leitungen aus massiven Drähten tritt der Hauteffekt auf, und die OHMschen Widerstände der Kreise werden stark frequenzabhängig. Als Strommesser sind die Hitzdrahtinstrumente, die einen geringen Dämpfungswiderstand haben und keine allzugroße Beeinflussung der Blindwiderstände bedingen, gut zu gebrauchen, während für die Messung der Spannungen an den Enden der Blindwiderstände im allgemeinen keine induktions- und kapazitätsfreien Meßinstrumente mit hinreichend hohem Innenwiderstand zur Verfügung stehen. Hier wird die Berechnung der Spannung aus den mit der Brücke gemessenen Werten der Selbstinduktionskoeffizienten oder der Kapazität und der mit dem Hitzdrahtamperemeter gemessenen Stromstärke zu richtigeren Werten führen als etwa die direkte Messung mit dem Hitzdrahtvoltmeter. Durch Benutzung eines Resonanzwellenmessers wird der Umfang der Versuche und Messungen bedeutend erweitert. Es soll nur hingewiesen werden auf die schönen Versuche zur SEIBTschen Spule, zur Doppelresonanz und auf die Bestimmung des Dämpfungsdekrements, des Koppelungsgrades und des Koeffizienten der gegenseitigen Induktion. Besonders reichhaltig an Versuchsmaterial ist auch der vierte Abschnitt, der die ganz kurzen Wellen behandelt, die noch eben ohne besondere Kunstgriffe mit den Dreielektrodenröhren erzeugt werden können (Frequenzen von 10 bis $60 \cdot 10^6$ Hertz). Wenn auch hier die exakten Messungen der Strom- und Spannungsgrößen noch schwieriger werden als in dem vorher behandelten Wellenbereich und darum gegenüber den Schauversuchen mehr zurücktreten, so tauschen wir dafür den Vorteil ein, daß wir andere Vorgänge, die bei niederen Frequenzen dem Auge meistens verborgen bleiben, sichtbar machen können. Das Gebiet der Wellenlängen zwischen 3 und 10 m spielt gerade darum für die Einführung der Schüler in das Verständnis der elektromagnetischen Wellen eine so große Rolle, weil man hier gleichsam im engen Raume des Klassenzimmers das sichtbar darstellen kann, was sich draußen im großen zwischen der Sende- und Empfangsanlage auf weite Entfernungen abspielt. Die in dem Hefte beschriebenen Anordnungen sind einfach und zum großen Teile neu. Im letzten Abschnitt behandelt dann der Verfasser die Resonanzkreise, deren Frequenz in der Höhe der durch das menschliche Ohr gut wahrnehmbaren und unterscheidbaren akustischen Schwingungen liegt, das sind die Frequenzen von 300 bis 10 000 Hertz. Als besonderer Vorteil tritt hier die Möglichkeit des Abhörens der Schwingungszahl unter Zuhilfenahme eines Kopfhörers oder Lautsprechers hinzu. Bezüglich der Abstimmittel sind die Verhältnisse besser als bei Verwendung der Netzfrequenz; als Kapazitäten werden Glimmerkondensatoren (für kleinere Frequenzen auch Becherkondensatoren) in Stufenschaltung und als Induktivitäten Spulen mit Festwerten oder in Variometerform benutzt. Auch die Messung der Stromstärke mit dem Hitzdrahtinstrument oder dem Thermokreuz und der

Spannung mit dem sog. Röhrenvoltmeter (auch Elektrodynamometer würden hier wenigstens für die unteren Frequenzen noch gut brauchbar sein) bietet keine Schwierigkeit, so daß sich dieser Frequenzbereich besonders gut zur Aufnahme von Resonanzkurven (Spannungs- und Stromresonanz) und zur Bestimmung von Dämpfungsdekrementen eignet.

Obwohl der Inhalt der Abschnitte 2 bis 5 sich auf den gleichen Gegenstand bezieht und auch innerhalb der Abschnitte der Stoff nach den gleichen Gesichtspunkten gegliedert ist, so bringt doch jeder Abschnitt eine erstaunliche Fülle neuer Tatsachen. Wenn man das Heft durchgelesen hat, wird man kaum einen Punkt finden, den der Verfasser nicht berücksichtigt hat, und kaum einen, in dem Vorhergehendes wiederkehrt. Alle Apparate werden so beschrieben, daß man sie leicht selbst bauen oder bauen lassen kann, bei allen Einzelteilen findet man ihre Größen und Meßdaten angegeben. Auch auf Schwierigkeiten, die bei der Inbetriebnahme dieser oder jener Anordnung etwa eintreten könnten, wird der Leser aufmerksam gemacht, ebenso auf die Mittel, sie zu beheben oder zu vermeiden. Kurz: es kann nicht fehlgehen, wenn man sich durch das Heft von FR. MOELLER bei der Ausführung von Resonanzversuchen beraten läßt.

Besonders dankbar wird man dem Verfasser sein müssen, daß er sich nicht, wie es viele Lehrbücher tun, mit der Angabe von Formeln begnügt, sondern daß er alle Tatsachen durch auf Messungen beruhende Zahlenbeispiele, die meistens zu übersichtlichen Tabellen zusammengestellt und graphisch ausgewertet werden, belebt. Solche Zahlenbeispiele bieten gerade für den Anfänger ein wertvolles Mittel zur Selbstkontrolle bei seinen Versuchen. Wer wirkungsvolle Schauversuche den Meßversuchen vorzieht, kommt ebenfalls auf seine Kosten. Solche Schauversuche, bei denen als Stromindikatoren kleine Glühbirnen und als Spannungsindikatoren Glimmlampen verwandt werden, finden sich in jedem Abschnitt nach den Meßversuchen beschrieben.

Nach meiner Überzeugung können wir Physiklehrer uns glücklich schätzen, daß uns FRIEDRICH MOELLER ein so gründliches und reichhaltiges Praktikum der Wechselstromphysik vorgelegt hat, und ich möchte wünschen, daß das wertvolle Heft in die Hände eines jeden Amtsgenossen gelangt.

5. Technik und mechanische Praxis.

Die 14. Große Deutsche Funkausstellung (1937) in Berlin. Bericht von FRIEDRICH MOELLER in Berlin-Tempelhof.

Seit der 10. Funkausstellung hat unsere Zeitschrift regelmäßig über die Fortschritte berichtet, die in der Funktechnik für das letzte Jahr entweder zu verzeichnen waren oder sich anbahnten. Auf dem Gebiete des Hörfunks vollzieht sich jetzt die Fortentwicklung nicht mehr ruckweise und in großen Schritten (fast explosiv) wie in den früheren Jahren, sie ist nicht mehr eine Folge neuer Entdeckungen oder Erfindungen, sondern nur mehr ein Ergebnis sehr intensiver physikalisch- oder technisch-wissenschaftlicher Arbeit geworden. Auf der technischen Ausstellung des Hörfunks verschwinden allmählich fast gänzlich neue „Knalleffekte", die auch dem Laien beim bloßen Durchwandern der Schau auffallen; die Neuerungen erscheinen selbst dem Kundigen zunächst verwickelt und bedürfen eines besonderen Hinweises, um als solche erkannt zu werden, wenn man von einigen wenigen Besonderheiten absieht. So bietet die Hörfunkausstellung dem Nichtfachmanne kaum noch einen technischen Reiz, und die Ausstellungsleitung ist gezwungen, dafür Sorge zu tragen, daß der Besuch der Ausstellung in anderer Weise entschädigt. Das geschieht in steigendem Maße durch Einrichtung von Senderäumen in den Hallen, von wo aus die Rundfunksendungen während der Ausstellung fast ausschließlich erfolgen, und dabei ist jeder Sendebezirk berücksichtigt. Es ist gelungen, in diesen Räumen die Akustik so zu vervollkommnen, daß das bloße Zuhören schon ein Genuß wird, ganz abgesehen von dem Einblick, den der Zuschauer in die Sendetechnik gewinnt; diese Räume waren während der ganzen Dauer der Ausstellung in der Regel überfüllt. Gegenüber dem Hörfunk ist der Fernsehfunk noch in hastiger Entwicklung begriffen, was auch der Unkundige ohne große Mühe feststellen kann. Eine Einsicht in die Technik ist ihm zwar verschlossen, aber die Wiedergabe hat in einem Jahre einen so großen Schritt vorwärts getan, daß diese bloße Feststellung zu einem Erlebnis wird.

Es mögen zunächst die Geräte des Hörfunks besprochen werden. Die Empfänger- bzw. Verstärkertypen haben sich, abgesehen von einigen kleineren Neuerungen, die weiter unten erwähnt werden, im Aufbau nicht geändert. Geradeausverstärker und Zwischenfrequenzverstärker sind von allen Firmen beibehalten worden aus Gründen, die hier früher schon mehrfach erwähnt worden sind. In dieser Beziehung ist für absehbare Zeit eine Umstellung nicht mehr zu erwarten; beide Arten behaupten sich nebeneinander. In den Zwischenfrequenzverstärkern ist die willkürliche Bandbreitenregelung jetzt fast allgemein durchgeführt worden, so daß der Nachteil der schlechten Wiedergabe der hohen Töne bei diesen Geräten entfällt, wenn der Hörer es wünscht. Die Preise der Geräte wie der Röhren (bei diesen etwa 20%) sind im allgemeinen herabgesetzt worden; Geräte, die über 400 RM kosten, sind nur in wenigen Typen (bis zu 12 Röhren) vorhanden, die überdies für die Schule kaum Wichtigkeit haben dürften. Unter den normalen Geräten finden sich einige Typen, deren Ausrüstung mit genügend leistungsfähigen Endröhren das Gerät für kleinere Schulsäle brauchbar macht[1]. Für das Ausland wird eine

[1] Aus naheliegenden Gründen werden Firmennamen hier nicht erwähnt. Über einzelne Geräte gibt die Staatliche Hauptstelle für den naturwissenschaftlichen Unterricht Auskunft (Berlin NW 40; Invalidenstr. 57/62).

besondere Kurzwellentype gemeinschaftlich von allen Firmen hergestellt, um den Deutschen im Auslande den Empfang des Deutschen Kurzwellensenders einwandfrei zu ermöglichen. Weil in den wesentlichen Teilen eines Empfängers Neukonstruktionen kaum noch möglich sind, hat sich der Konstruktionsingenieur anderen, nebensächlicheren Aufgaben zugewandt, deren Lösung mehr der Bequemlichkeit des Hörers dient, und dabei ist manche Einrichtung zustande gekommen, die der Techniker kaum anders als eine hübsche Spielerei nennen kann. Hierher gehören die Konstruktionen, bei denen die Einstellung der gewünschten Station nicht mehr mit der Hand, sondern durch einen Motor vorgenommen wird; in besonderen Fällen erfolgt dabei die Einstellung sogar automatisch durch einen Druckknopf, der die gewünschte Station bezeichnet. Ausnahmslos treibt der Motor den Rotor der (gekoppelten) Drehkondensatoren; er liegt bei Betrieb im Anodenstromkreis der Röhren, durch deren Anodenstrom er also betätigt wird. Bei automatischer Auslösung wird durch den Druckknopf ein Kurzschlußschalter geöffnet, so daß der Strom durch die Motorwicklung fließt; sobald die Stationsstellung erreicht ist, wird der Kurzschlußschalter wieder eingeschaltet, der Motor bleibt stehen und wird zu gleicher Zeit abgebremst. Eine physikalisch mehr interessierende Neuerung bildet ein optisches Hilfsmittel zur Einstellung auf die Resonanzfrequenz (Trägerfrequenz, Bandmitte) der einzustellenden Station, das als „Magisches Auge" bezeichnet wird, ein sichtlich zur Anpreisung erfundenes Schlagwort. Physikalisch ist dieses Abstimmittel als Abstimmanzeigeröhre zu kennzeichnen, deren Einrichtung weiter unten besprochen wird. — Alle diese Neuerungen haben mit der Verbesserung der Güte der Wiedergabe, die dem Laboratoriumsingenieur begreiflicherweise stets am meisten am Herzen liegt, nichts zu tun; sie dienen lediglich der besseren Ausstattung der Geräte.

Als Entwicklungsfortschritte im Sinne des Physikers sind Vervollkommnungen zu werten, die auf dem Gebiete der Lautsprecher erreicht worden sind. Der seit langem als notwendig erkannten Bedingung, daß die Membran als starres System ohne Resonanzlage auszubilden ist, wobei ihr Gewicht möglichst weit herabgesetzt werden muß, ist man im laufenden Jahr erheblich näher gekommen (Fig. 1). Die Mehrzahl der Firmen (im vorigen Jahre waren es nur wenige) haben die Membran als Keilschnittmembran ausgebildet, ihre Wandung gleichmäßig zur Spule S hin verstärkt und sie am Rand am Aufhängering R mit mehreren Wellen versehen, wobei das Papier fast durchsichtig dünn geworden ist, so daß eine sehr weiche Einbettung entsteht; der ganze Konus ist aus einem Stück gepreßt. Auf diese Weise kann der Konus gewissermaßen als „Kolben" schwingen, der auch den großen Amplituden der tiefen Töne zu folgen vermag. Für sehr hohe Töne sind die normalen Membranen zu groß, die Membran muß kleiner werden; man benutzt deshalb für einzelne Geräte, die eine besonders gute Wiedergabe auch der höchsten Töne aufweisen sollen, mehrere Lautsprecher, die parallel geschaltet sind. Im vorigen Jahre waren diese Ausführungen außerordentlich teuer; inzwischen ist ein kleineres Gerät dieser Art entwickelt worden, dessen Preis sich etwa auf RM 400.— hält. Die kleineren Lautsprechertypen mit elektrodynamischem Antrieb arbeiten heute alle in permanentmagnetischem Felde, dessen Stärke auf 14000 Gauß getrieben werden kann. Die Entwicklung der Lautsprecher auf Wiedergabe auch der tiefen Töne (unter 100 Hz) hat rückwirkend wieder zu einer Neukonstruktion im Verstärkerteil geführt. Im Verstärker macht ein guter Durchlaß der tiefen Frequenzen besondere Schwierigkeiten; die mittleren Frequenzen sind stets bevorzugt, ein Mangel, der teilweise behoben werden kann durch eine Einrichtung, die als „Baßanheber" bezeichnet wird. Von der Endröhre des Verstärkers wird ein Teil der zur Verfügung stehenden Wechselspannung auf eine Vorröhre zurückgekoppelt, aber in entgegengesetztem Sinne, so daß also eine Schwächung der Endamplitude entsteht. Die Wirkung ist größer für die mittleren

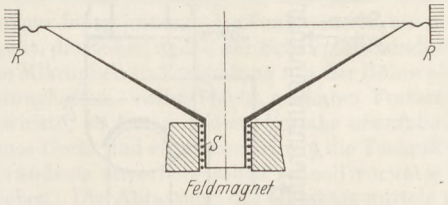


Fig. 1. Keilschnittmembran.

als für die tiefen Töne, und man erhält dadurch eine Verzerrung zugunsten der tiefen Töne. Die Erfahrung hat gezeigt, daß für Sprachwiedergabe eine Betonung der tieferen Töne schädlich ist; sie wirkt oft nachteilig für die Hörsamkeit, der Baßanheber muß also in diesem Fall ausgeschaltet sein; in anderen Apparaten ist auch eine abschaltbare Drosselkette eingebaut, um die tiefen Töne zu unterdrücken, falls Wiedergabe der Sprache erfolgt.

Ein in der Schule vielfach benutztes Gerät ist der Tonabnehmer für Schallplatten geworden, der heute wohl in der Regel nicht mehr in seiner alten Form als Schalldose, sondern in der neuen als elektrischer Spannungserzeuger benutzt wird, dessen Spannungen auf einen Röhrenverstärker gegeben werden. In den bisher bekannten Instrumenten dieser Art wird die Spannung ohne Ausnahme in einer Spule erzeugt, die einem durch die Nadel im Sinne der auf der Platte eingegrabenen Schallschwingungen veränderten magnetischen Fluß ausgesetzt wird. Auf der Ausstellung wurde ein nach einem neuen Prinzip konstruierter Tonabnehmer gezeigt; hier folgt die Spannungsabgabe einem anderen Gesetze wie die der magnetischen Tonabnehmer. Die Spannungserzeugung geschieht bei letzteren etwa nach der Gleichung $U = \text{konst} \cdot f \cdot A$, wo f die Frequenz und A die Amplitude der Schallschwingung ist; bei gleichbleibender Spannung muß mit fallender Frequenz die Amplitude größer und größer werden; für tiefe Frequenzen kann dieser Forderung bei Beschriftung einer Schallplatte nicht mehr genügt werden, weil

der Raum auf der Platte nicht ausreicht; die tiefen Frequenzen, etwa ab 150 Hz, werden daher bei der Aufnahme beschnitten, und ihre Wiedergabe mittels eines magnetischen Tonabnehmers muß deshalb unzureichend sein. Nach dem zu erläuternden neuen Verfahren erfolgt die Spannungserzeugung proportional der Amplitude, sie ist von der Frequenz unabhängig; die tiefen Töne einer Schallplatte müssen daher besser wiedergegeben werden. Der neue Tonabnehmer enthält als spannungerzeugendes System einen Kristall von der Art, wie sie heute in den Röhrensendern zur Aufrechterhaltung der Trägerfrequenz allgemein benutzt werden; man bezeichnet sie als piëzoelektrische Kristalle, weil sie die Eigenschaft haben, eine elektrische Spannung zu erzeugen, wenn sie in bestimmter Richtung zu ihrer Achse mechanisch erregt werden. Im neuen Tonabnehmer geschieht die Erzeugung der Spannung in der Weise, daß

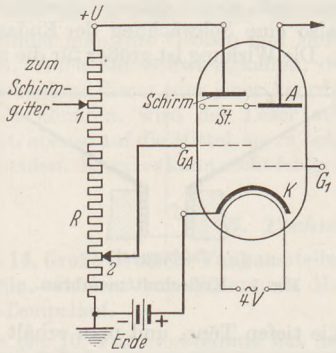


Fig. 2. Schaltschema einer Abstimmanzeigeröhre.

ein Kristallplättchen in eine kleine Gabel gepreßt wird, welche die Tonnadel trägt; das Plättchen ist am anderen Ende fest gelagert, so daß es gezwungen ist, die Bewegungen der Nadel auszuführen. Die entstehenden Spannungen werden durch zwei kleine, auf dem Kristall befindliche Kupferfolien abgenommen und in normaler Weise zum Gitter der Eingangsröhre geführt. Die Spannungen sind um eine Größenordnung höher als die Spannungen, die in einem magnetischen Tonabnehmer erzeugt werden können; bei letzteren erreichen sie kaum 1 V, bei einem Kristalltonabnehmer bis 10 V und mehr. Der Berichter verdankt diese Angaben einer mündlichen Rücksprache bei der Herstellerfirma, da Literaturangaben einstweilen so gut wie gar nicht vorhanden sind. Die erwähnten Eigenschaften des neuen Tonabnehmers fallen ohne weiteres beim Hören auf, eines Hinweises bedarf es nicht. Das Gerät wird voraussichtlich bei weiterer Entwicklung und Forschung, die insbesondere in Bezug auf die geeignete Art der zu dem Zwecke künstlich hergestellten Kristalle nicht abgeschlossen ist, sicherlich noch gewinnen.

Neue Röhrentypen sind in diesem Jahre kaum entwickelt worden, wenn man von der schon oben erwähnten Abstimmanzeigeröhre (Magisches Auge) absieht, die unter der Bezeichnung AM 2 (für Allstromempfänger C/EM 2) zu erhalten ist. Die Röhre soll, wie schon erwähnt, die Abstimmung auf Bandmitte eines einzustellenden Senders dadurch erleichtern, daß die richtige Einstellung sichtbar gemacht wird. Die neue Röhre besteht im wesentlichen aus einer normalen Eingitterröhre (Triode), der eine kleine BRAUNsche Röhre im gleichen Glaskolben parallel geschaltet ist. Das Prinzip ist in Fig. 2 angegeben. Im rechten Teil der Figur sind die Teile der Triode dargestellt, A ist ihre Anode, G_1 ihr Gitter und K die indirekt geheizte Kathode. Dieser Teil der Röhre kann beliebige Verwendung finden, z. B. als Niederfrequenzwiderstandsverstärker, er kann aber auch, wie das bei den größeren Empfängern geschieht, die mit der AM 2 ausgerüstet sind, zur Abstimmanzeige mit herangezogen werden. Im linken Teile der Figur ist der Stromkreis der Abstimmanzeige dargestellt, die Kathode ist beiden Systemen gemeinsam (vgl. auch Fig. 3). G_A ist das sog. Anzeigegitter, der Schirm ist die Anode; er ist mit einer fluoreszierenden Schicht bestrichen und leuchtet auf bei Auftreffen der Elektronen. Er liegt direkt an einer gleichbleibenden Spannung U (bis 250 V), während sein Anodenstrom durch folgende Einrichtung geregelt wird. Der Abgriff *1* am Widerstand R führt — um aus den zahlreichen Schaltungsmöglichkeiten ein Beispiel herauszugreifen — zum Schirmgitter einer Regelröhre (Exponentialröhre); der an kleinerer Spannung liegende Abgriff *2* ist zum Anzeigegitter G_A geführt. Der Kathode K ist positive Spannung gegen Erde gegeben, die so eingestellt werden muß, daß im Ruhezustande des Empfängers, wenn kein Sender hörbar ist, das Anzeigegitter negative Spannung gegen K hat, der Anzeigeanodenstrom daher klein ist. Sobald aber das Feld eines Senders wirksam wird, ändert sich dieser Zustand. Der Schirmgitterstrom der Exponentialröhre wird kleiner, die am Widerstand R verbrauchte Spannung daher geringer. Die Spannung am Anzeigegitter nimmt deshalb gegenüber der Spannung an der Kathode zu, und der Leuchtschirmstrom steigt an; der größte Stromwert ist erreicht, wenn Abstimmung auf die einzustellende Senderfrequenz vorhanden ist. Die Triodenanode ist noch mit 2 Stegen *St.* verbunden, die in den Elektronenweg der BRAUNschen Röhre eingeführt sind; ihre Anordnung ist leichter zu erkennen in Fig. 3a, die den technischen Aufbau der Röhre etwas näher veranschaulicht. Die Bezeichnungen sind hier wie in Fig. 2 gewählt, der Heizfaden der Kathode ist fortgelassen. In ihrem unteren Teil dient die Kathode K der Triode, im oberen Teil der BRAUNschen Röhre als Elektronenquelle. Die Gitter und Anoden sind kreisförmig um die Kathode angeordnet, der Schirm besitzt die Form einer Schale mit fehlendem Boden, die bei Betrieb von oben gesehen wird. Die beiden Stege *St.* und die (nicht gezeichneten) Gitterhaltestäbe bewirken eine Bündelung des Elektronenstromes der BRAUNschen Röhre; die Elektronen werden um so weniger nach der Mitte zu abgelenkt, je weniger negativ (gegen die Kathodenspannung) die Spannung des Anzeigegitters ist. Auf dem Schirm erscheinen leuchtende Flächen, deren Sektoren um so größer werden, je weniger die Elektronen abgelenkt sind. Man begreift, daß die Größe der leuchtenden Flächen auch

von der Stärke des Senderfeldes abhängt, im Maximum kann der Winkel des Leuchtsektors etwa 165 Grad betragen; die Abstimmung ist geschehen, wenn der Leuchtsektor auf eine größtmögliche Fläche eingestellt wird. In Fig. 3b sind die Grenzfälle, größter leuchtender Sektor bei eingestellter sehr starker Trägerwelle und Dunkelstellung (oben) bei nicht einfallendem Sender, dargestellt. — Die Arbeitsweise der Röhre in diesem engen Rahmen ausführlicher zu besprechen, ist nicht möglich; mit einer Angabe der Röhrendaten muß diese Besprechung abgeschlossen werden. Triode: Anodenspannung bis 250 V, Anodenstrom 3 mA. Durchgriff 2%, Steilheit 2 mA, Gittervorspannung —3,5 V. BRAUNsche Röhre: Anodenspannung 250 V, Gitterspannung gegen Kathode — 6 bis + 3 V (bei voll leuchtender Röhre), Schirmstrom 0,1 bis 0,8 mA.

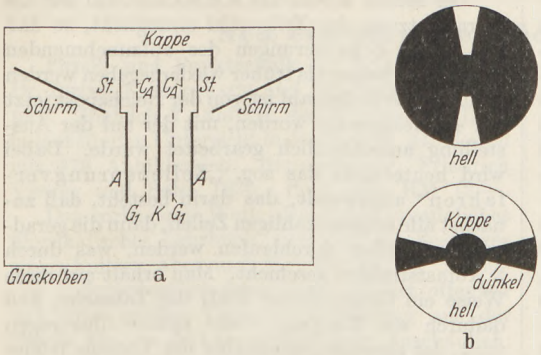


Fig. 3. Aufbau einer Abstimmanzeigeröhre.

Die Deutsche Reichspost zeigte auf ihrem Stand, abgesehen von zahlreichen Anschauungsbildern, eine vollständige Drahtfunk-Empfangsstation in Betrieb, über deren Arbeitweise bereits im vorigen Jahr an dieser Stelle berichtet wurde. Es ist beabsichtigt, in den nächsten Jahren den Drahtfunk praktisch einzuführen, sobald die eingehenden Versuche vollständig abgeschlossen sind. Es sollen dem Fernsprechnetz mehrere Trägerfrequenzen aufgedrückt werden, so daß also auf mehrere Sendungen je nach Wunsch eingestellt werden kann, wozu ein normaler Rundfunkempfänger benutzt wird. — Unter anderen Geräten zeigte die Reichspost auch das Modell eines Fernsehkabels, wie es zur Energieleitung für einen modulierten Fernsehsender gebraucht wird. Alle Fernsehkabel, sowohl für Sender wie für Empfänger, müssen wegen der hohen zur Übertragung notwendigen Frequenzen geringste Kapazität besitzen; sie bestehen daher aus einer Seele, deren Stärke je nach der zu übertragenden Leistung bemessen und die in weiten Abständen (20 cm) frei gelagert ist in einem Rohre, dessen Wandung die Rückleitung bildet. Das Rohr besitzt einen großen inneren Durchmesser gegen die Seele, so daß der gegenseitige Abstand groß ist. Das Kabel muß flexibel und je nach der Verwendung gegen äußere Einflüsse geschützt sein; das Fernsehkabel, das zur Übertragung von Fernsehbildern aus dem Funkhausgarten in die Halle benutzt wurde, hatte etwa 5 cm Durchmesser.

Die Fernsehtechnik hat gegenüber dem Vorjahr außerordentliche Fortschritte gemacht; ihre Erfolge standen daher im Mittelpunkte der Ausstellung. Der Raumbedarf dieses Teiles der Funkausstellung hat von Jahr zu Jahr zugenommen; die vorgesehene Halle war in diesem Jahre zu klein, um alle Zuschauer aufzunehmen, die von dem Fortschritt Kenntnis nehmen wollten. Zum ersten Male wurde in großem Umfange Fernsehen gezeigt, wie es sich der Laie vorstellt; es wurden nicht wie früher hauptsächlich kinematographische Bilder abgetastet, sondern die Vorgänge, die sich unmittelbar draußen in dem Funkgarten abspielten: Der Zuschauer des Bildes am Fernseher konnte seine Angehörigen draußen sehen und erkennen. Außerdem waren in der Halle einige Fernsehbühnen eingerichtet, deren Spiel in Bild und Ton ebenfalls in den Fernsehempfängern der Halle wiedergegeben wurde. — Wie vor einigen Jahrzehnten in der Funkindustrie ein neues Gerät, die Röhre, und in der Schallplattenindustrie das Mikrophon in Verbindung mit der Röhre einen sprunghaften, vorher nicht geahnten Fortschritt bewirkte, so hat seit dem Vorjahr ebenfalls ein neues Gerät und ein neues Prinzip die Technik des Fernsehens unvorhergesehen schnell vorwärts getrieben. Die Abtastung des Objektes mittels mechanischer Einrichtungen (Nipkowscheibe, Spiegelrad usw.) ist gänzlich aufgegeben worden; auch auf der Senderseite ist man — wie auf der Empfängerseite nach dem Vorschlag von M. VON ARDENNE schon seit mehreren Jahren — zur Abtastung mittels Elektronenstrahls übergegangen, wodurch die Schwierigkeit, zu genügend hohen Abtastfrequenzen zu gelangen, mit einem Schlage beseitigt worden ist. Auch auf der Senderseite beruht der „Bildfänger" heute auf dem gleichen Prinzip wie auf der Empfängerseite der „Bildschreiber", beide benutzen die BRAUNsche Röhre als Wandler vom optischen Bild zu elektrischen Wechselströmen bzw. umgekehrt im Empfänger. Freilich hat der Bildfänger eine andere Form erhalten müssen, die V. A. ZWORYKIN[1] gefunden hat; nach ihm trägt das neue Gerät den Namen „Ikonoskop", dessen Aufbau in Fig. 4 schematisch dargestellt ist. Das sich bewegende Objekt wird mit-

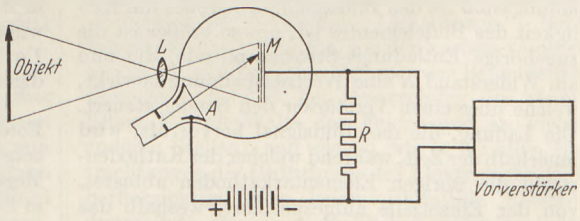


Fig. 4. Schema des Ikonoskops.

[1] VLADIMIR A. ZWORYKIN ist von Geburt Russe und kam erst nach dem Kriege nach Amerika. Er ist zur Zeit Laboratoriumsleiter der Radio Corporation of Amerika, Camden, N. Y.

tels des Linsensystems L auf dem Schirm M abgebildet, der sich innerhalb der Röhre befindet. Er besteht aus einer sehr großen Anzahl einzelner voneinander isolierter Photozellen, die aus einer Silber-Cäsium-Paste auf einem Glimmerblatt niedergeschlagen sind; es entsteht beim Niederschlag eine nicht zusammenhängende Schicht kleinster Inselchen, so daß die Bedingung der gegenseitigen Isolation der Zellchen voneinander verhältnismäßig einfach gelöst ist; die Zahl der Zellchen beträgt auf einer rund 10mal 10 cm großen Fläche etwa 3 Millionen. Auf der Rückseite der Glimmerplatte ist ein homogener Silberbelag aufgetragen; Photozellen, Glimmerplatte und Silberbelag stellen kleinste einander parallel geschaltete Kondensatoren dar, deren Zahl ebenso groß ist wie die Zahl der Photozellen. Die Zellenplatte, Mosaikplatte genannt, bildet eine Reihe ebenfalls zahlengleicher und parallel geschalteter Elementarkathoden, welche durch Bestrahlung mit dem vom Objekt ausgesandten Licht infolge Elektronenverlustes auf eine positivere Spannung aufgeladen werden (äußerer lichtelektrischer Effekt), die dem Helligkeitswert des zugehörigen Bildteilchens entspricht und außerdem von der Zeitdauer abhängt, während der die Strahlung andauert; gemäß der eingestrahlten Lichtmenge, z. B. während der Zeit $^1/_{50}$ Sek., speichert die Elementarkathode eine bestimmte Elektrizitätsmenge auf. Die frei werdenden Elektronen fließen langsam in Form eines mit der mittleren Bildleuchtdichte sich ändernden Stromes zur Anode A, die an der inneren Wandung der Röhre als Schicht aufgetragen ist. Die Mosaikplatte, die über einen Widerstand R am negativen Pol einer Spannungsquelle liegt, wird nun durch einen Elektronenstrahl abgetastet, der durch nicht zu besprechende Steuerorgane, deren Arbeitweise hier als bekannt vorausgesetzt werden muß, das Bild in eine Anzahl untereinander befindlicher Zeilen zerlegt. Trifft die Spitze des Strahls, deren Durchmesser sehr klein sein muß und etwa $^1/_{400}$ der Zeilenlänge beträgt, ein Photozellenelement, so wird das Element plötzlich auf eine negativere Gleichgewichtsspannung gebracht, es entsteht ein Entladungsstoß des Elementarkondensators, dessen Größe der lichtelektrischen Aufladung innerhalb der Speicherzeit proportional ist; der Entladungsstoß ist das Bildsignal. Je größer die Helligkeit des Bildelementes ist, um so größer ist die zugehörige Entladungs-Stromamplitude, die nun am Widerstand R eine Wechselspannung bewirkt, welche über einen Verstärker den Sender steuert. Die Ladung, die das Bildsignal hervorruft, wird innerhalb der Zeit, während welcher der Kathodenstrahl die übrigen Elementarkathoden abtastet, von der Einzelzelle aufgespeichert, weshalb das Verfahren den Namen Ladungsspeicher-Bildabtastverfahren erhalten hat. Die Theorie des Ikonoskops ist schwierig, und es bedurfte einer längeren theoretischen Vorarbeit, um das Gerät brauchbar zu machen; das ist aber nun gelungen. Zum Zweck der Fernsehaufnahme wird das Ikonoskop zusammen mit der Optik und einem Vorverstärker in eine Kamera eingebaut, die nach Art der Tonfilmkamera auf ein Stativ gesetzt und drehbar ist. Die notwendigen Gleichspannungen werden über besondere Leitungen zugeführt; die Bildsignalfrequenzen werden durch das Fernsehkabel zum Senderaum geführt, dort weiter verstärkt und dann auf den Sender gedrückt.

Der zeitlos arbeitende Kathodenstrahl hat die Heraufsetzung der Zeilenzahl ermöglicht, so daß die feinen Schattierungen des aufzunehmenden Bildes weit besser als früher wiedergegeben werden können; die Zeilenzahl ist von der Reichspost jetzt auf 441 festgesetzt worden, mit der auf der Ausstellung ausschließlich gearbeitet wurde. Dabei wird heute stets das sog. „Zeilensprungverfahren" angewandt, das darin besteht, daß zunächst alle ungeradzahligen Zeilen, dann die geradzahligen Zeilen durchlaufen werden, was durch 2 Abtaststrahlen geschieht. Man erhält auf diese Weise ein flimmerfreies Bild; die Tatsache, daß dadurch ein Vorgang etwas später übertragen wird, der eigentlich gegenüber der Vorzeile früher wiedergegeben werden sollte, nimmt das Auge nicht wahr. Jede Zeilenzahl wird in $^1/_{50}$ Sek., das gesamte Bild also in $^1/_{25}$ Sek. durchlaufen.

Im Fernsehempfängerbau bemüht man sich, die bisher großen Abmessungen der Geräte kleiner zu machen, was nur durch Verkleinerung der Schirmfläche der BRAUNschen Röhre möglich ist; um die Bildfläche dann wieder zu vergrößern, wird eine Optik zu Hilfe genommen. Die Herabsetzung der Originalbildfläche der Röhre erfordert eine Erhöhung der Bildhelligkeit, die durch Verbesserung der Bildschicht einerseits, andererseits durch Erhöhung der Elektronengeschwindigkeit zu erreichen ist. Man ist dann gezwungen, die Anodenspannung der Röhre heraufzusetzen und ist so bei normalen Geräten schon auf 10000 V gekommen. Um Großbilder zu erzeugen, wird das gleiche Verfahren der Bildvergrößerung durch eine Optik angewandt, das Bild wird schließlich auf einen Schirm projiziert. Um genügend helle Bilder zu erhalten, wie sie notwendig werden, um einer größeren Zuschauermenge das Fernsehen zu ermöglichen, sind außerordentlich große Anodenspannungen notwendig, man hat schon 100000 V erreicht. Die Beschießung der Schicht mit derartig schnellen Elektronen stellt aber an ihre Güte außerordentliche Anforderungen, insbesondere auch in Bezug auf die Lebensdauer; auf der Ausstellung wurden Projektionsbilder von der Größe etwa 1 qm gezeigt, die aber noch nicht vollauf befriedigen konnten.

Ganz außerordentliche Ansprüche stellt die Forderung hinreichend verzerrungsfreier Übertragung der Frequenzbänder, deren Breite mehrere Megahertz beträgt, an die Verstärker, zumal wenn in Erwägung gezogen wird, daß auch kleinste Frequenzen bis herab zu 1 Hertz verstärkt werden müssen. Hier feiert der Widerstandverstärker Triumphe; aber auch auf ihn mußte noch viel Arbeit verwendet werden, um ihn zu solcher Vollkommenheit auszubilden.

In Berlin wird jetzt ein Fernseh-Funkhaus eingerichtet, das die Spielräume und sonstigen Einrichtungen enthält; das Brockenhaus, in dem ein Fernsehsender untergebracht wird, nähert sich

seiner Vollendung, und auf dem Feldberg wird ebenfalls schon gearbeitet; die Fernsehsendungen werden also in absehbarer Zeit auf eine weit größere Grundlage gestellt sein als bisher. Die zur Verfügung stehende Zahl der Fernsehteilnehmer hängt in erster Linie von der Preisherabsetzung der zur Zeit noch sehr teuren Empfänger ab, in zweiter Linie auch davon, wie weit ein Fernsehprogramm fesselnd genug durchgeführt werden kann. Darüber läßt sich zur Zeit ein Urteil noch nicht abgeben.

Neu erschienene Bücher und Schriften.

Physik und Funktechnik für Seefahrer. Von Dr. Peter Kaltenbach und Dr. Heinrich Meldau. Zugleich 7. Auflage des Bolteschen Leitfadens für den Unterricht in der Physik. 446 Seiten mit 479 Abbildungen. Braunschweig: Friedrich Vieweg und Sohn 1936. Preis geb. RM 12,—.

Das vorliegende Werk ist ein ganz vorzügliches physikalisches Lehrbuch, zwar auf den Seefahrer zugeschnitten, aber auch für „Landratten" sicherlich außerordentlich brauchbar. Es ist offenbar aus einer großen Unterrichtserfahrung aus der Praxis für die Praxis geschrieben, anschaulich, anregend und übersichtlich in kurzen Kapiteln, die stets sehr schnell auf das Wesen der physikalischen Erscheinung führen; lange Herleitungen sind vermieden. Dabei ist eine große Zahl praktischer Beispiele angegeben, die in der Regel naturgemäß aus nautischen Gesichtspunkten gewählt sind. Aber es interessiert doch nicht nur den lernenden Seemann zu erfahren, warum z. B. die Wellen fast unabhängig von der Windrichtung stets nahezu senkrecht auf den Strand auflaufen, warum der Schall mit dem Winde gewissermaßen geführt und daher besser gehört wird als umgekehrt, wie weit das Licht einer Hefnerkerze vom Auge wahrgenommen wird, insbesondere bei roter oder grüner Abdeckung, wie ein Schlingertank seine dämpfende Wirkung auf Schiffsbewegungen ausübt, wie gefährliche Vibrationen bei großen Schnelldampfern entstehen können usw.; alles das sind physikalische Erscheinungen, von denen in anderen physikalischen Lehrbüchern gleichen Umfangs kaum die Rede ist. — Das Buch ist in folgende neun Abschnitte eingeteilt: Lehre vom Gleichgewicht (Statik); Bewegungslehre (Dynamik); Mechanische Schwingungen und Wellen; Optik; Wärmelehre; Magnetismus; Elektrostatik; Elektrodynamik; Elektrische Schwingungen und Funktechnik. — Mit Ausnahme der Lehre von der Zusammensetzung der Atome, die nicht behandelt ist, weil sie den Nautiker weniger interessiert, sind alle Abschnitte bis zu den jüngsten physikalischen Erkenntnissen fortgeführt. Der letzte Abschnitt (Funktechnik) fällt meines Erachtens zuletzt etwas aus dem Rahmen des Buches, insofern er kaum noch physikalische Angaben enthält, sondern rein technisch Typen von Sendern und Empfängern für Schiffsbetrieb aufzählt; das würde vielleicht besser in ein Lehrbuch der Navigation passen. Für den Nichtnautiker wäre hier eine andere Abfassung des Buches zweckmäßiger, die den Abschnitt über Elektrodynamik etwas mehr betont, d. h. Maschinen und elektrische Hochspannungstechnik eingehender behandelt hätte. Das kann natürlich nur ein subjektives Urteil sein, denn diese Gebiete interessieren den Seemann ja kaum in weiterem Maße. — Das hübsche Werk enthält am Schluß noch eine große Zahl Übungsbeispiele für jeden Abschnitt, die gut ausgewählt sind. Die Formelzeichen und Benennungen sind nach den Vorschlägen des AEF (Ausschuß für Einheiten und Formelgrößen) angewandt mit einigen Ausnahmen, auf die in der Einleitung besonders hingewiesen wird. *F. Moeller.*

Einführung in die klassische Elektrodynamik. Von Johannes Fischer. VIII, 199 Seiten mit 120 Abbildungen. Berlin: Julius Springer 1936. Preis geh. RM 12,—; geb. RM 13,80.

„Diese Schrift ist mit Bedacht eine Einführung, nicht ein Lehrbuch genannt. Es soll damit ausgedrückt sein, daß für die Darstellung didaktische Gesichtspunkte besonders stark bestimmend waren." Mit diesen ersten Sätzen des Vorworts wird eine wesentliche Einstellung des Buches treffend gekennzeichnet. Der Verfasser sieht es mit Recht als eine Hauptaufgabe an, den Studenten zu einem wirklichen Eindringen in die ihm fremde und erfahrungsgemäß schwer zu bewältigende Feldvorstellung zu bringen, und dazu gehört, daß der Student auch in den einfachen und wohl bekannten Erscheinungen stets die Aussagen der allgemeinen Gleichungen wieder zu erkennen vermag.

Der erste Teil behandelt elektrische und magnetische Felder ohne wechselseitigen Zusammenhang, der zweite solche Felder in wechselseitiger Verkettung. Der dritte Teil gibt mathematische Zusammenstellungen und eine Übersicht über die Verknüpfung der Maßsysteme. Die Maxwellschen Gleichungen werden — als Niederschlag und Verallgemeinerung bestimmter experimenteller Erfahrungen — allmählich aufgebaut. Die quasistationären Vorgänge werden sehr ausführlich behandelt und machen den Hauptteil des Buches aus.

Das Wort „Äther" wird überhaupt nicht gebraucht; denn „mit ihm verbindet sich dem Lernenden nur allzu leicht die Vorstellung des raumerfüllenden, hypothetischen Mittels der verlassenen elastischen (mechanischen) Lichttheorie." Sehr begrüßenswert ist die Art, wie der Verfasser immer wieder auf anschauliches Erfassen des Behandelten Gewicht legt (z. B. bei Besprechung des räumlichen Energieinhalts des Feldes und an vielen anderen Stellen), und ebenso, wie er bei allen Betrachtungen die Bedürfnisse des Elektrotechnikers berücksichtigt (also keine „eisenfreie Elektrodynamik"). Für einen glücklichen Gedanken halte ich es auch, daß der Verfasser die Begründer der klassischen Elektrodynamik, Faraday und Maxwell, häufig selbst zu Worte kommen läßt. So werden z. B. der Begriff des elektrischen Feldes, des Verschiebungsstromes u. a. mit den Worten Maxwells erklärt.

Der Text ist klar und gut verständlich. Äußerlich fällt die sehr gute Kennzeichnung der Kapitel

am Kopf jeder Seite angenehm auf. Unverständlich ist, warum die zeitlichen Ableitungen der Feldstärken in ruhenden Körpern bald mit geradem d, bald mit rundem ∂ bezeichnet werden, oder warum auf S. 7 von einem limes für $q \to dq$ die Rede ist, abweichend von der üblichen mathematischen Schreibweise. Doch das sind Kleinigkeiten, die wohl den Anfänger zuerst stören können, den Wert des Buches aber nicht beeinträchtigen.

Das Buch ist eine recht gute Einführung in die Elektrodynamik und erfüllt die Aufgabe, die sich der Verfasser selbst gestellt hat. Es kann Studenten der Physik und der Elektrotechnik durchaus empfohlen werden. *E. Lamla.*

Die Luftfahrt im naturkundlichen Unterricht der Volksschule. Eine Einführung an Hand zahlreicher Versuche mit einfachen Mitteln. Von Alfred Knappe. 134 Seiten mit zahlreichen Abbildungen. Leipzig: Quelle & Meyer 1936. Preis geb. RM 3,—.

Die Schrift nimmt eine Sonderstellung unter den in der letzten Zeit erschienenen Büchern über Luftfahrt ein, da sie sich ausdrücklich auf den Volksschulunterricht bezieht. Eine wesentliche Beschränkung in der Stoffauswahl gegenüber der Fluglehre auf der höheren Schule ist allerdings kaum zu erkennen. Vielmehr liegt die Beschränkung nur in der Wahl der Lehrmittel. So wird das Büchlein zu einer Sammlung vieler bekannter und einiger recht gut erdachter, neuer Freihandversuche aus der Fluglehre. Hierin bietet es auch dem Physiklehrer willkommene Hinweise. Leider benutzt der Verfasser in dem Bestreben, „physikalisch" vorzugehen, nicht die Hilfe, die ihm der Flugzeugmodellbau bietet, obgleich sich manche Versuche mit wirklich fliegenden einfachsten Modellen viel eindrucksvoller vorführen lassen. Zu erwähnen sind die klaren Abbildungen der Versuchsanordnungen und die vielen gut ausgewählten Lichtbildaufnahmen moderner Flugzeuge. Die Vielseitigkeit der Darstellung gibt sicherlich dem Nichtphysiker wie auch dem Physiker manche Anregung für den Unterricht.

O. Brandt.

Deutschlands Luftfahrt und Luftwaffe. Entwicklung, Leistung, Gliederung, Aufgaben, Berufe. Von H. Geyer, Ministerialrat und Abteilungschef im Reichsluftfahrtministerium. 145 Seiten. Sammlung Göschen, Bd. 1107. Berlin: W. de Gruyter u. Co. 1937. Preis RM 1,62.

Die Reichsminister für Luftfahrt und für das Unterrichtswesen lassen dem Buch im Vorwort eine besondere Wertung zuteil werden. Aus der sehr eingehenden Darstellung der Gliederung und Aufgaben der Luftfahrt wird jeder, der zum Flugwesen Beziehung hat, besonders aber der Schüler, der sich mit dem Gedanken trägt, einmal in ihren Dienst zu treten, und ebenso der Lehrer, der berufen ist, diesen Nachwuchs zu fördern, Gewinn ziehen. Die Aufzählung und Beschreibung der Berufe in der Luftfahrt, ihrer Arbeitsgebiete und ihres Ausbildungsganges läßt die Möglichkeiten erkennen, die sich für den Nachwuchs eröffnen. Die Bedeutung der Schrift für die deutsche Erzieherschaft ist so offensichtlich, daß sich weitere Ausführungen erübrigen. *O. Brandt.*

Materie und Strahlung. (Korpuskel und Feld.) Von Ludwig Hopf. Band 30 der Sammlung „Verständliche Wissenschaft". VIII, 162 Seiten mit 56 Abbildungen, Berlin: Julius Springer 1936. Preis geb. RM 4,80.

Die Aufgabe, die der Verfasser sich stellt, ist außerordentlich schwierig: Auf dem engen Raume von 158 Oktavseiten werden in 6 Kapiteln besprochen: das Korpuskelbild, das Feldbild, Elektronen und Quanten, Korpuskulare Erscheinungen bei Strahlung, Feldeigenschaften der Materie, Feld-Korpuskel-Einheit. Mit Recht betont der Verfasser, daß die Darstellung nicht ganz ab ovo beginnen kann, sondern die einfachen Grundtatsachen der Physik voraussetzen muß, und daß (gerade wegen des Verzichts auf Mathematik) das Büchlein „keine Lektüre für die Siesta" ist; „verständlich soll jede Wissenschaft sein, aber nicht leicht verständlich".

Betrachtet man nun das fertige Büchlein unter den vom Verfasser selbst genannten Voraussetzungen, so kann man es als gut gelungen bezeichnen. Es wird auch gerade dem Lehrer an höheren Schulen mannigfache Dienste leisten können. *E. Lamla.*

Durch Raum und Zeit. Von Sir James Jeans. 260 Seiten mit insgesamt 106 Abbildungen im Text und auf 54 Tafeln. Stuttgart-Berlin: Deutsche Verlagsanstalt 1936. Preis geb. RM 6,50.

Entsprechend einer mehr als 100jährigen Gepflogenheit bittet die Royal Institution of Great Britain alljährlich um die Weihnachtszeit einen Gelehrten, eine Reihe Vorträge „für jugendliche Hörer" zu halten. Aus solchen Vorträgen, die zu Weihnachten 1933 gehalten worden sind, ist, unter Zufügung einiger Ergänzungen, das vorliegende Buch entstanden. Freilich erwähnt der Verfasser selbst in der Vorrede, daß sich unter den genannten „jugendlichen Hörern" alle Altersklassen von 8 bis 80 Jahren befanden, solche mit den Vorkenntnissen eines Kindes und daneben Professoren und Gelehrte von Weltruf. Dementsprechend hält das Buch bei aller Anschaulichkeit und Leichtverständlichkeit ein erfreulich hohes Niveau.

Der Leser macht mit dem Verfasser eine Reise durch den Weltraum: erst auf der Erde und in sie hinein, dann durch den Luftraum nach oben, zum Mond, zu den Planeten, zur Sonne, zu den Sternen und Nebeln. Er hört nicht nur die überaus interessante Darstellung des Verfassers, er erlebt fast unmittelbar die Ereignisse. Er lernt die geologischen Dokumente der Erdgeschichte lesen; er erfährt, welche Vorstellungen sich der Mensch im Laufe der Zeiten von der Entwicklung und der Beschaffenheit des Universums gemacht hat; er hört (und sieht), welche Hilfsmittel der Himmelsforschung zu Gebote stehen, und er gewinnt, aufs beste unterstützt durch die 54 Tafeln mit ausgezeichneten Photographien (darunter guten Wiedergaben von Spektral- und Infrarotaufnahmen), ein anschauliches Bild von dem heutigen Stande der astronomischen Erkenntnis, auch von den offenen schwierigen Problemen dieser Wissenschaft.

Wie andere Bücher des großen Gelehrten ist auch dieses durch packende Darstellung, größte Anschaulichkeit und leichte Verständlichkeit ausgezeichnet. Es liegt etwas Beschwingtes, Mitreißendes im Text. Das Buch kann jedem, ganz besonders aber reiferen Schülern, zur Lektüre empfohlen werden. *E. Lamla.*

Experimentelle Psychologie in Demonstrationen. Von EGON BRUNSWIK. X, 166 Seiten mit 135 zum Teil mehrfarbigen Abbildungen im Text und auf 2 Tafeln. Wien: Julius Springer 1935. Preis geh. RM 10,60; geb. RM 12,—.

Das Buch ist aus Vorlesungen des Verfassers an der Wiener Universität entstanden, aus einem „Einführungskurs in die experimentelle Psychologie." Es handelt sich um die Darstellung von Versuchen, die vom Vortragenden geleitet und von den Hörern ausgeführt werden; an Hand dieser Versuche wird dem Hörer bzw. dem Leser ein Einblick in die Gesetzmäßigkeiten und methodischen Prinzipien der experimentellen Psychologie vermittelt. So ist eine sehr anregende Schrift entstanden, die auch dem Laien ein gutes und klares Bild von den hier vorliegenden Problemen gibt.

Den Hauptteil des Buches nimmt die Wahrnehmungspsychologie und nehmen insbesondere optische Probleme ein. Denn einerseits ist gerade dieses Gebiet besonders gründlich bearbeitet und durchforscht worden, und andererseits lassen sich hier für die wichtigen Gesetzmäßigkeiten Musterbeispiele auswählen, die starke Überzeugungskraft haben, und die sich auch zur Demonstration ohne lange Vorbereitung eignen.

Das Buch zerfällt in 7 Abschnitte: Die Sinnesqualitäten; Gestaltwahrnehmung; Sehraum und Dingwelt; Gedächtnis und Denken; Gefühl; Tätigkeit; Persönlichkeitstypen. Es ist leider im Rahmen einer kurzen Besprechung nicht möglich, ein genaueres Bild von dem reichen Inhalt des Buches zu geben. Es sei nur erwähnt, daß neuere Fragestellungen und Gebiete besonders berücksichtigt werden, z. B. die Eidetik, die Gestaltpsychologie, Probleme der Dingkonstanz, die Denkpsychologie, die Persönlichkeitstypologie, die experimentelle Sozialpsychologie.

Aus vorwiegend optischen Versuchen wird zuerst die Grundeinstellung gewonnen: die ganzheitliche Einstellung, d. h. also, die Erkenntnis, daß man seelische Zusammenhänge nur vom Ganzen her richtig verstehen und würdigen kann, daß man sie nicht aus isolierten Elementarteilen aufbauen kann, und daß insbesondere das, was die isolierten Elementarteile eines Ganzen für sich noch nicht enthalten, nicht etwa von außen in das Ganze hineinzutragen ist. Vor allem erkennt der Leser, daß man auch beim Ausgehen von dem ganzheitlichen Standpunkt durchaus exakt und streng verfahren kann.

Die Brauchbarkeit und die Anschaulichkeit des Buches wird durch die große Zahl Abbildungen stark erhöht. So eignet sich das Buch auch durchaus für das Selbststudium, insbesondere auch für Lehrer an höheren Schulen, die sich über das Gebiet der experimentellen Psychologie an Hand einfacher, von ihnen selbst mit meist ganz einfachen Mitteln nachzumachender Versuche unterrichten wollen.

E. Lamla.

Vereine und Versammlungen.

Verein zur Förderung des physikalischen und chemischen Unterrichtes in Wien.
Bericht über die Vereinstätigkeit im 43. Vereinsjahr (Schuljahr 1936/37).

A. Vorträge.

17. Oktober 1936. Gedenkfeier zur Erinnerung an das verstorbene Ehrenmitglied Universitätsprofessor, Landesschulinspektor i. R. Hofrat Dr. KARL ROSENBERG. ROSENBERGS Leben und Wirken; ROSENBERG als Methodiker; Vorführung einiger von ROSENBERG angegebenen Versuchsanordnungen.

24. Oktober 1936. Direktor HEINRICH PABISCH: Die Gewürze des Welthandels.

7. November 1936. Prof. Dr. techn. Ing. WLADIMIR MAXYMOWICZ: Chemie der Milchsäure in Schulversuchen.

11. November 1936. Univ.-Prof. Dr. W. SCHMIDT: Zum Strahlungsgenuß in unseren Bergen. Dr. A. ROSCHKOTT: Der frühzeitige Vorwinter 1936. Dr. M. TOPERCZER: Das Obdacher Beben vom 3. 10. 36.

21. November 1936. RUDOLF RAMHARTER: Eine empfindliche Waage aus Papier. RUDOLF HUBY: Rückkopplung mit Hilfe des Monochords. Prof. Dr. ADOLPH JOHNSCHER: FOUCAULTscher Pendelversuch; Abnahme des Luftdrucks mit der Höhe, im Schulzimmer gezeigt; der Lautsprecher als einfacher Oscillograph.

24. November 1936. Prof. der Techn. Hochschule Hofrat Dr. HEINRICH MACHE: Österreichs große Physiker und ihre Spitzenleistungen.

5. Dezember 1936. Hauptschullehrer PAUL KOLLER: Der Schülerversuch in der 2. Hauptschulklasse. Hauptschullehrer FERDINAND WAGNER: Der Unterricht aus der Optik in der 3. Hauptschulklasse, gegründet auf Schülerversuche.

9. Dezember 1936. Dozent Dr. F. LAUSCHER: Probleme der Dämmerung.

12. Dezember 1936. Dozentin Dr. FRANZISKA SEIDL: Elektrische Leitfähigkeit der Atmosphäre.

9. Januar 1937. Landesschulinspektor Dr. RUDOLF BERANEK: Ein neues Aufbaugestell für physikalische Schulversuche. Schulrat HANS KELLERMANN: Segelflug und schiefe Ebene. Prof. Dr. OTTO RUMPLER: Projektionseinrichtungen für Kapillarerscheinungen.

16. Januar 1937. Prof. Dr. WALTHER LEHNER: Eine neue Erklärung für Dur und Moll.

20. Januar 1937. Dr. M. TOPERCZER: Die Verteilung der Erdbeben in den Ostalpen.

23. Januar 1937. Dr. WILLIBALD JENTSCHKE und Dr. N. KOCH: Vorführung der Wilson-Kammer und elektrischer Apparate zum Nachweis von Korpuskularstrahlen.

10. Februar 1937. Dr. N. ECKEL: Licht und Farbe in Alpenseen.

20. Februar 1937. Prof. Dr. KARL IPPISCH: Demonstrationsversuche über Röhrenschwingungen.

27. Februar 1937. Ing. JOSIP SLISKOVIC: NICOLA TESLA und sein Werk.

6. März 1937. Hauptschullehrerin MARGARETE OBOTT: Der Schülerversuch im Chemieunterricht der 3. Hauptschulklasse. Hauptschullehrer PAUL KOLLER: Der Schülerversuch im Physikunterricht der 3. Hauptschulklasse.

9. März 1937. Univ.-Prof. Dr. ROBERT ETTENREICH: Die Ionosphäre.

13. März 1937. Prof. ROBERT JURENKA: Schulversuche mit Ultrakurzwellen.

20. März 1937. Ing. Dr. WILHELM OBURGER: Neue Verfahren zur Aufnahme von Farbenfilmen.

10. April 1937. KRAUS-Feier zur Erinnerung an die beiden gründenden Mitglieder Reg.-Rat KONRAD KRAUS und Dr. I. KRAUS. Vorführung von Schul- und Schülerversuchen mit einfachen Mitteln. Schulrat JOSEF DEISINGER: Bestimmung des mechanischen Wärmeäquivalentes. Hauptschuldirektor LEOPOLD DOBROWOLNY: Modell der Linsenbilder. Schulrat HANS KELLERMANN: Bewegliches Wetterkartenmodell. Vorführung einer Lichtbildreihe des Vereines Skioptikon über die Herstellung von Münzen und Medaillen im Wiener Münzamt. Hauptschullehrerin AUGUSTE WEITZENBÖCK: Wandbilder über elektrische Unfälle. Hauptschullehrer PAUL KOLLER: Sichtbarmachung der Wurfbahnen.

17. April 1937. Direktor RICHARD BENSMANN: Das Polarisationsfilter nach Prof. BERNAUER und seine Verwendung in Physik, Chemie, Mineralogie und Photographie. Vorführung neuer optischer Geräte der Firma Carl Zeiss, Jena.

8. Mai 1937. Filmtechniker CARL M. KOTLIK: Der Schmalfilm, seine Entwicklung, Technik und Verwendung im Unterricht. Das neue Ditmar-Schmalfilmgerät.

13. Mai 1937. Vorführung neuer physikalischer und physikalisch-technischer Filme.

22. Mai 1937. Prof. Dr. techn. Ing. WLADIMIR MAXYMOWICZ: Die Chemie des Äthylens in Schulversuchen.

29. Mai 1937. Prof. Dr. ALPHONS JOHNSCHER: Fliehkraft in Gasen. Freier Fall in intermittierender Beleuchtung. Versuch zur Wellenlehre. Hauptschullehrer JOHANN SELBITSCHKA: Vorführung einer neuen billigen Bildwurfeinrichtung (Dia-Mikro-Filmband). Schulrat HANS KELLERMANN: Vorführung einer Lichtbildreihe des Vereines Skioptikon über die Herstellung der Glühlampe.

5. Juni 1937. Prof. Dr. PAUL ERNST: Quarzlampe und Luminiszenzanalyse im Unterricht, Vorführung der neueseten Analysenlampenmodelle.

8. Juni 1937. Dozent Dr. N. TINBERGEN (Leiden): Ein Jahr in Ostgrönland.

9. Juni 1937. Dozent Dr. F. LAUSCHER: Der Golfstrom und unser Wetter.

B. Besichtigungen.

10. November 1936: Bau der Reichsbrücke über die Donau bei Wien.

12. November 1936: Phonogramm-Archiv der Akademie der Wissenschaften. Führung: Reg.-Rat Dr. LEO HAJEK.

22. November 1936: Zuckerfabrik in Bruck an der Leitha, Niederösterreich.

25. November 1936: Triebwagen-, Stellwerks- und Oberleitungsanlagen der Wiener Stadtbahn.

11. Januar 1937: Maschinenglasfabrik in Brunn am Gebirge, Niederösterreich.

16. Januar 1937. Bundes-Erziehungsanstalt in Wien XIII.

10. März 1937: Osram-Glühlampenfabrik in Atzgersdorf, Niederösterreich.

15. April 1937: Schiffswerfte der Donau Dampfschiffahrts-Gesellschaft in Kornneuburg, Niederösterreich.

27. April 1937: Shell-Floridsdorfer Mineralölfabrik in Wien XXI.

12. Mai 1937: Anlagen der Wiental-Wasserleitung in Unter-Tullnerbach, Niederösterreich. Lehr- und Erziehungsanstalt Norbertinum der christlichen Schulbrüder in Unter-Tullnerbach.

2. Juni 1937: Linoleumfabrik in Brunn am Gebirge, Niederösterreich.

3. Juni 1937: Physikalischer Nachmittag im Wiener Wurstelprater unter Führung von Schulrat HANS KELLERMANN und Ing. FRIEDRICH HOLZDORFER.

Vereinsleitung.

Obmann: O. ö. Univ.-Prof. und Vorstand des chemisch-analytischen Laboratoriums Dr. ADOLF FRANKE.

Obmann-Stellvertreter: Hofrat Dr. KARL BRUNO und Studienrat FRIEDRICH BRANDSTÄTTER.

Geschäftsführer: Reg.-Rat KARL MÜLLNER, Wien IV, Schelleingasse 39/10.

Vereinszeitschrift: Physik und Chemie; Hauptschriftleiter: Landesschulinspektor Dr. RUDOLF BERANEK, Wien I, Dr. Ignaz Seipel-Ring 1.

Korrespondenz.

Gesamtverzeichnis für das fünfte Jahrzehnt der Zeitschrift.

Der Inhalt der Jahrgänge 41 bis 50 (1928 bis 1937) ist in einem von unserem altbewährten Mitarbeiter Prof. PAUL STEINDEL zusammengestellten Hauptverzeichnis übersichtlich geordnet worden. Das Heft befindet sich als Fortsetzung der bisher veröffentlichten vier Generalregister (Jahrg. 1 bis 10, 11 bis 20, 21 bis 30, 31 bis 40) im Druck und erscheint Anfang 1938.